

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANA PAULA DA CONCEIÇÃO DE LIMA
DILIAN PRESŁAK

ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO DA UTFPR
CÂMPUS PATO BRANCO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

ANA PAULA DA CONCEIÇÃO DE LIMA

DILIAN PRESŁAK

**ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO DA UTFPR
CÂMPUS PATO BRANCO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica da Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin

PATO BRANCO

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado **ANÁLISE DO SISTEMA ELÉTRICO DA UTFPR CÂMPUS PATO BRANCO**, dos alunos **ANA PAULA DA CONCEIÇÃO DE LIMA** e **DILIAN PRESŁAK** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **37** de 2014.

Fizeram parte da banca os professores:

Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin

Prof. Msc. Beatriz Antonina Fontana de Vargas

Prof. Msc. Hervê Stangler Irion

DEDICATÓRIA

Ana Paula da Conceição de Lima

À família:

Maria Goreti da Conceição (mãe)

Valdely José do Nascimento (padrasto)

Luana da Conceição do Nascimento (irmã)

Alexandre Shouichi Tani (filho)

Dilian Preslak

À família:

Ilda da Silva Preslak (mãe)

Carlos Roberto Preslak (pai)

Azafi Cesar Preslak (irmão)

Willian Belusso (namorado)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, o responsável por todo o nosso sucesso alcançado ao longo de toda a nossa caminhada, por ser a fonte de toda a nossa força e sabedoria.

Ao nosso orientador professor Dr. Marcelo Gonçalves Trentin, pela orientação e participação durante todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores da banca avaliadora, Beatriz Antonina Fontana de Vargas e Hervê Stangler Irion, por suas considerações, as quais enriqueceram o trabalho.

Aos professores do Curso de Engenharia Elétrica, pelo conhecimento e experiências transmitidas, as quais proporcionaram uma excelente base para uma carreira profissional.

À UTFPR por colaborar no fornecimento de documentos de projetos das instalações elétricas da Universidade, históricos de consumo de energia e por permitir a realização das medições de energia elétrica. Em especial a pessoa responsável pelo setor de projetos, Roberto Carlos Carneiro pela colaboração.

Aos nossos colegas de turma, pelo apoio e incentivos recebidos.

À nossa família pelo conforto nos momentos difíceis e pelos ensinamentos básicos desde os primeiros momentos de nossa vida, que sem isto nada teria sido possível.

“Aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças.
Voam alto como águias. Correm e não ficam exaustos, andam e
não se cansam.”

Isaías 40:31

RESUMO

LIMA, Ana Paula da Conceição e PRESLAK, Dilian. Análise do Sistema Elétrico da UTFPR Câmpus Pato Branco. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco 2013.

Este estudo apresenta o levantamento das atuais condições do sistema elétrico de baixa tensão da UTFPR, realizando um levantamento da utilização da energia da Instituição e um diagnóstico deste sistema para um melhor aproveitamento e confiabilidade. O levantamento consistiu no emprego de aplicação de técnicas termográficas e de medições elétricas por meio de câmera termográfica e de um analisador de grandezas. As técnicas termográficas auxiliaram na averiguação de possíveis falhas que poderiam estar presentes na instalação, por questões de dimensionamento ou por necessidades de manutenção em componentes, barramentos e conexões. Com o analisador de grandezas elétricas foram efetuadas medições nas saídas dos transformadores de distribuição, os quais contribuíram para análise a fim de diagnosticar deficiências e propor melhorias para o sistema da Universidade. Foi possível obter dados da real situação das capacidades das subestações da Universidade, possibilitando futuras tomadas de decisões e posteriores planejamentos para futuras ampliações e crescimentos de demandas internas.

Palavras-chave: Conservação de Energia. Eficiência Energética. Transformadores de distribuição. Técnicas Termográficas. Análise de grandezas elétricas.

ABSTRACT

LIMA, Ana Paula da Conceição e PRESLAK, Dilian. Análise do Sistema Elétrico da UTFPR Campus Pato Branco. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco 2013.

This study presents a survey of the current conditions of the electrical system low voltage UTFPR, conducting a survey of energy use in diagnosis and institution of this system for better utilization and reliability. The survey consisted of the job application of thermographic techniques and electrical measurements using thermographic camera and an analyzer magnitudes. Thermographic techniques helped the investigation of possible faults that might be present in the facility, for sizing issues or maintenance needs for components, busbars and connections. With the analyzer magnitudes measurements were performed on the outputs of distribution transformers, which contributed to analysis in order to diagnose deficiencies and propose improvements to the University system. It was possible to obtain data from the real situation of substation capacity of the university, enabling future decision-making and subsequent plans for future expansion and growth of internal demand.

Keywords: Energy Conservation. Energy Efficiency. Distribution transformers. Thermographic techniques. Analysis of electrical.

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABENDI	Associação brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência nacional de energia elétrica
AT	Alta tensão
BNC	Entrada do tipo Bayonet Neil Concelman
BT	Baixa tensão
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
COPEL	Companhia paranaense de energia
ELETROBRÁS	Centrais elétricas brasileiras S.A.
EPR	Isolação de borracha etileno propileno
IEC	International Electrotechnical Commission
MTA	Máxima Temperatura Admissível
NBR 5410	Norma Brasileira de Instalações Elétricas de Baixa Tensão
PETROBRÁS	Petróleo brasileiro S.A, empresa de capital aberto.
PROCEL	Programa nacional de conservação de energia elétrica
PVC	Isolação de cloreto de polivinila
REUNI	Reestruturação e expansão das universidades federais
SEs	Subestações
UTFPR	Universidade Federal Tecnológica do Paraná
XLPE	Isolação de polietileno reticulado

LISTAS DE SÍMBOLOS

A	Valor de aquecimento
AC	Valor de aquecimento corrigido
CA	Corrente alternada
C	Capacitância
°C	Graus Celsius
ϵ	Emissividade
h	Horas
I	Corrente
Im	Carga medida (Amperes)
In	Carga nominal (amperes)
KV	Quilo Volts (unidade de tensão multiplicada por 10^3)
KVA	Quilo Volts Ampère (unidade de potência multiplicada por 10^3)
KVAr	Quilo Volts Ampère Reativo (unidade de potência multiplicada por 10^3)
KWh	Quilowatt hora (unidade de consumo de energia multiplicado por 10^3)
KW	Quilo watts (unidade de tensão multiplicada por 10^3)
Km/h	Quilômetros por hora
MAA	Máximo aquecimento admissível
mV	Milivolts (unidade de tensão multiplicada por 10^3)
MWH	Mega watts hora (unidade de tensão multiplicada por 10^6)
P	Potência ativa
PF	Fator de potência
ρ	Fração da refletida
R	Resistência
Q	Potência reativa
R\$	Reais (unidade monetária da moeda brasileira)
S	Potência aparente
T	Temperatura em Kelvin
τ	Fração da transmitida
W	Intensidade de radiação
Θ	Ângulo do fator de potência
α	Fração da irradiação total absorvida

σ Constante de Stefan Boltzmann
 λ Comprimento de onda

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de transferência de energia em transformadores.....	28
Figura 2 - Fenômeno da Histerese.....	28
Figura 3 - Limite indicado para o fator de potência	37
Figura 4 - Instalação de banco de capacitores junto a Cargas Indutivas	38
Figura 5 - Instalação de banco de capacitores no barramento geral de baixa tensão	39
Figura 6 - Instalação de banco de capacitores em circuitos alimentadores	39
Figura 7 - Instalação de banco de capacitores na entrada de energia.....	40
Figura 8 - Carga assimétrica	44
Figura 9 - Radiação eletromagnética	45
Figura 10 - Absorção, reflexão e transmissão.....	45
Figura 11 - Diagrama unifilar do sistema de distribuição da UTFPR.....	52
Figura 12 - Esquema de ligação do analisador de grandezas.....	53
Figura 13 - Demanda contratada e medida.....	57
Figura 14 - Consumo na ponta, fora de ponta e total	59
Figura 15 - Decomposição da fatura de energia em termos percentuais.	59
Figura 16 - Fator de potência - 05/04/2013 (sexta-feira)	60
Figura 17 - Fator de potência - 06/07/2013 (sábado)	60
Figura 18 - Fator de potência da Universidade - 07/04/2013 (domingo)	61
Figura 19 - Curva diária de potência (TR1) - 05/04/2013 (sexta-feira)	62
Figura 20 - Curva Diária de tensão e corrente (TR1)- 05/04/2013 (sexta-feira)	63
Figura 21 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro (TR1) - 05/04/2013 (sexta-feira)	64
Figura 22 - Curva diária de potência (TR2)- 02/04/2013 (terça-feira).....	65
Figura 23 - Curva diária de tensão e corrente (TR2)– 02/04/2013 (terça-feira)	66
Figura 24 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro (TR2) - 02/04/2013 (terça-feira)	67
Figura 25 - Curva diária de potência (TR3) - 19/04/2013 (sexta-feira)	68
Figura 26 - Curva diária de tensão e corrente (TR3) - 19/04/2013 (sexta-feira).....	68
Figura 27 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro do (TR3) - 19/04/2013 (sexta-feira)	69
Figura 28 - Curva diária de potência do (TR4) - 12/04/2013 (sexta-feira)	70
Figura 29 - Curva diária de tensão e corrente (TR4) - 12/04/2013 (sexta-feira).....	70
Figura 30 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro (TR4) - 12/04/2013 (sexta-feira)	71
Figura 31 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - visão interna	72
Figura 32 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - cabos	73
Figura 33 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - conexões	74
Figura 34 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - terra	74
Figura 35 - Coluna 1 do quadro geral de BT (TR 1) – condutores e conexões na chave seccionadora	75

Figura 36 - Coluna 1 do quadro geral de BT (TR 1) – fusíveis de proteção geral	76
Figura 37 - Coluna 1 do quadro geral de BT (TR 1) - conexões dos cabos de interligação	76
Figura 38 - Coluna 2 do quadro BT (TR 1) - fusíveis.....	77
Figura 39 - Coluna 3 do quadro BT (TR 1) - disjuntor de interligação	77
Figura 40 - Coluna 4 do quadro BT (TR 1) - disjuntor de interligação 4	78
Figura 41 - Coluna 5 do quadro BT (TR 1).....	79
Figura 42 - Coluna 6 do quadro BT (TR 1).....	79
Figura 43 - Condutores de saída (TR 1).....	80
Figura 44 - Bucha (TR 1).....	80
Figura 45 - Tanque (TR 1).....	81
Figura 46 - Quadro geral de BT (TR 2) - visão interna	81
Figura 47- Quadro geral de BT (TR 2) - barramentos	82
Figura 48 - Quadro geral de BT (TR 2) - condutores.....	83
Figura 49 - Quadro geral de BT (TR 2) - neutro e terra	83
Figura 50 - Tanque (TR 2).....	84
Figura 51 - Cabos de saída (TR 2).....	84
Figura 52 - Proteção de surto (TR 2).....	85
Figura 53 - Quadro geral BT (TR 3) – visão interna	85
Figura 54 - Quadro geral de BT (TR3) - barramentos e conexões	86
Figura 55 - Quadro geral de BT (TR 3) - condutores.....	87
Figura 56 - Quadro geral de BT (TR 3) - disjuntores	88
Figura 57 - Quadro geral de BT (TR3) – neutro e terra	88
Figura 58 - Conexão dos cabos de saída (TR 3).....	89
Figura 59 - Mufla (TR 3)	89
Figura 60 - Quadro de Geral de BT (TR 4) – visão interna	90
Figura 61 - Quadro geral de BT (TR4) - condutores.....	91
Figura 62 - Quadro geral de BT (TR 4) – neutro e terra	91
Figura 63 - Quadro geral de BT (TR 4) - disjuntores	92
Figura 64 - Condutores de saída (TR 4).....	92
Figura 65 - Tanque (TR 4).....	93
Figura 66 - Bucha (TR 4).....	93

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Subgrupos do grupo B	21
Quadro 2 - Subgrupos do Grupo A.....	22
Quadro 3 - Relação entre emissividade, reflexibilidade transmitância.	46
Quadro 4 - Valores de emissividade	47
Quadro 5 - Critérios de classificação.....	50
Quadro 6 - Máxima temperatura admissível (MTA).....	50

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Perdas em KW nos transformadores.	29
Tabela 2 - Correção de velocidade de vento.....	48
Tabela 3 - Correção do fator de carga.	49
Tabela 4 - Histórico de Demanda e Consumo da UTFPR.....	56
Tabela 5 - Fator de carga.....	58
Tabela 6 - Maior valor registrado de potência reativa por turno	95
Tabela 7 - Maior valor registrado de potência ativa por turno	96
Tabela 8 – Menor valor registrado por turno	97

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVO.....	19
1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	20
2 REFERÊNCIA TEÓRICA	21
2.1 CLASSIFICAÇÕES DOS CONSUMIDORES	21
2.2 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	22
2.2.1 Tarifa Convencional	23
2.2.2 Tarifa Horo-Sazonal Verde	23
2.2.3 Tarifa Horo-Sazonal Azul	24
2.2.4 Tarifação de energia reativa	24
2.3 SISTEMA DE ENERGIA	25
2.3.1 Sistema de distribuição e efeito térmico	25
2.3.2 Transformadores de distribuição	27
2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	30
2.4.1 Conservação de energia em circuitos de distribuição	30
2.4.2 Conservação de energia em transformadores	32
2.4.3 Correções do fator de potência	34
2.5 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO	40
2.5.1 Manutenção Corretiva	40
2.5.2 Manutenção preventiva	41
2.5.3 Manutenção preditiva	41
2.6 TERMOGRAFIA	42
2.6.1 Eletro termografia	42
2.6.2 Radiação térmica	44
2.6.3 Critérios de classificação de anomalias	48

3 METODOLOGIA	51
3.1 AVALIAÇÃO DA FATURA DE ENERGIA.....	52
3.2 MEDIÇÕES COM ANALISADOR DE GRANDEZA	53
3.3 IMAGENS TÉRMICAS	54
4 APLICAÇÃO	56
4.1 HISTÓRICO DE CONSUMO E DEMANDA.....	56
4.2 ANÁLISE DE CARGA DO SISTEMA ELÉTRICO.....	61
4.2.1 Transformador de Distribuição 1	61
4.2.2 Transformador de Distribuição 2	64
4.2.3 Transformador de Distribuição 3	67
4.2.4 Transformador de Distribuição 4	69
4.3 EMPREGO DE TÉCNICA TERMOGRÁFICA.....	71
4.3.1 Cabine de Transformação 1	72
4.3.2 Cabine de transformação 2	81
4.3.3 Cabine de transformação 3	85
4.3.4 Cabine de transformação 4	90
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	94
5.1 FATURAMENTO DE ENERGIA	94
5.2 DADOS COLETADOS NOS TRANSFORMADORES	95
5.3 MEDIÇÃO TÉRMICA.....	99
6 CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICES	108

1 INTRODUÇÃO

No campus Pato Branco da UTFPR houve inúmeras intervenções em sua estrutura física com a finalidade de atender a crescente demanda de alunos e cursos, desde a fundação da Instituição em meados dos anos noventa como então Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET - PR. Entre as mais significativas pode-se citar as decorrentes da transformação do CEFET - PR em Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, ocorrido em 2005 e a do projeto de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais - Reuni em 2008 (UTFPR , 2012).

A evolução da Instituição acarretou na abertura dos novos cursos e vagas, construção e a expansão da estrutura física, como por exemplo, o novo restaurante universitário, bloco J1 para salas de professores, ampliações dos blocos de salas de aulas (L, M E N), ampliação de edificação dos cursos de pós-graduação e de informática (bloco V), bem como a nova biblioteca. Envolvendo também a reestruturação do campus, houve o remanejamento de laboratórios, adequação de ambientes e a inclusão de novos equipamentos além de um aumento do número de colaboradores (tanto professores quanto técnicos administrativos). Portanto, acompanhando essa crescente demanda o sistema elétrico da UTFPR também necessitou passar por significativas alterações como a instalação de uma nova entrada de energia a qual envolveu a redistribuição de carga e inclusão de novos transformadores de distribuição. Contudo esta demanda ainda não se encontra em regime permanente, mas com previsão de aumento no decorrer dos próximos anos (UTFPR , 2012).

Neste cenário de alterações e de crescimento surgiram problemas relacionados à qualidade do funcionamento do sistema de energia da Universidade, à reorganização desse sistema e também problemas ligados à manutenção. Informações sobre o comportamento do sistema elétrico reestruturado da Universidade ainda não haviam sido registrados. Nesse contexto, uma avaliação do sistema foi realizada para atualizar os dados referentes ao estado do sistema, facilitando processos de manutenções em caráter preventivo, preditivo e corretivo, auxiliando assim em projetos futuros em caso de novas ampliações.

Os processos de manutenção preditiva se fazem cada vez mais necessários na aquisição de dados sobre os sistemas elétricos devido à dependência crescente

das organizações em relação à tecnologia em seus processos e serviços. A confiabilidade do sistema elétrico se torna crucial para as empresas. Os prejuízos ocasionados por falha no sistema elétrico remetem a um maior interesse na aplicação de destas técnicas de manutenção (RANGEL, LIMA e PINTO, 2010; SANTOS, RODRIGUES e FARIA, 2012).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo fazer o levantamento e registros das atuais condições do sistema elétrico da UTFPR no lado de baixa tensão, avaliando a qualidade de funcionamento do sistema de energia da Instituição com a finalidade de contribuir com um diagnóstico para um melhor aproveitamento e confiabilidade.

O levantamento consiste na realização de medições elétricas por meio de um analisador de grandezas e na aplicação de técnicas termográficas. As técnicas termográficas auxiliaram na identificação de possíveis falhas que poderiam estar presentes na instalação, por questões de dimensionamento ou por necessidade de manutenção em componentes, barramentos e conexões. Com o analisador de grandezas efetuaram-se medições nas saídas dos transformadores de distribuição da universidade a fim de auxiliar nos registros e documentos do sistema elétrico para as futuras tomadas de decisões e posteriores planejamentos.

1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Em ocorrência das mudanças e ampliações na UTFPR, o sistema elétrico não se encontra em regime normal de funcionamento. Comportamento esperado para os próximos meses, com a entrada em funcionamento de todos os ambientes. A recente modificação da entrada de energia ocasionou uma alteração drástica na forma de distribuição interna de baixa tensão, a qual possivelmente introduziu uma variação significativa na demanda dos transformadores.

Essas alterações no sistema elétrico da Instituição acarretaram na ausência de acompanhamento sobre as características de funcionamento dos transformadores de distribuição. Como o sistema elétrico da Instituição foi sendo modificado ao longo dos anos, surgiu à dificuldade inerente à identificação das cargas devido a alterações não registradas.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Com esse estudo pretende-se obter um diagnóstico da qualidade do funcionamento do sistema de energia da Instituição, identificando as deficiências nas instalações elétricas em caráter de manutenção preditiva, com o intuito de fornecer dados aos responsáveis pela administração e manutenção do sistema para que possam realizar possíveis intervenções.

Com a alteração da entrada de energia da Instituição e das ampliações físicas realizadas no campus, os administradores da Universidade não possuem uma correta orientação da situação real de utilização do sistema elétrico. Além da necessidade de um conhecimento mais concreto da realidade do sistema elétrico, atual, a Universidade tem recebido sistematicamente multa com relação ao excedente reativo. Neste sentido este estudo também visa a colaborar com esta avaliação.

2 REFERÊNCIA TEÓRICA

Na sequência serão abordados os principais temas relacionados com o estudo proposto, composto em seis partes. A primeira e a segunda apresentam as principais características relacionadas às classificações de consumidores e as formas de tarifações de energia elétrica regulamentadas pela ANEEL. Na terceira são apresentadas as configurações de um sistema de distribuição e suas perdas ocasionadas por efeito térmico. Já na quarta são abordados os cuidados necessários em uma instalação elétrica para uma melhor eficiência energética. E por fim a quinta e a sexta parte relatam as formas de manutenção e os aspectos da técnica termográfica na manutenção preditiva.

2.1 CLASSIFICAÇÕES DOS CONSUMIDORES

Os consumidores são classificados nos grupos A e B, conforme o nível de tensão e demanda e tarifação (binômica e monômica). A tarifa Monômica é constituída apenas por valores correspondentes ao consumo de energia elétrica ativa, como para o caso do grupo B (baixa tensão). Enquanto que a Binômica corresponde ao conjunto de tarifas referentes a valores para o consumo de energia elétrica ativa e demanda faturável, como para o grupo A (alta tensão). O Quadro 1 expressa à classificação para o Grupo B (ANEEL, 2010).

CLASSIFICAÇÃO – GRUPO B	
Subgrupo B1	Residencial e residencial baixa renda
Subgrupo B2	Rural e cooperativa de eletrificação rural
Subgrupo B3	Demais classes
Subgrupo B4	Iluminação pública

Quadro 1 - Subgrupos do grupo B
Fonte: Adaptado de ANEEL (2010)

São classificadas como pertencentes ao Grupo B as unidades consumidoras com nível de tensão inferior a 2,3KV, sendo em sua maioria atendidas com 127V ou 220V. Pertencentes a essa classe encontra-se residências, edifícios residenciais, prédios públicos e uma parte significativa das instalações comerciais.

No Grupo A estão classificados consumidores em igual ou superior a 2,3KV. Pertencentes a essa classe encontra-se basicamente indústrias e alguns edifícios comerciais, podendo também ser classificados alguns prédios públicos. Consumidores com rede subterrânea em baixa ou alta tensão também são classificados neste grupo. Contudo para usufruir desse benefício deve-se obedecer aos seguintes preceitos (PROCEL, 2011; ELETROPAULO, 2013; COPEL, 2013; ANEEL, 2010):

- A unidade consumidora deve estar em uma área servida por este tipo de sistema ou dentro de uma região prevista para ser atendida por sistema subterrâneo;
- O consumo de energia ativa mensal deve ser igual ou superior a 30MWh por três ciclos seguidos e completos, nos seis meses anteriores;
- O contrato de fornecimento com demanda contratada deve ser igual ou superior a 150 KW.

As subdivisões desse grupo são mostradas no Quadro 2:

CLASSIFICAÇÃO – GRUPO A	
Subgrupo A1	Para o nível de tensão de 230KV ou mais
Subgrupo A2	Para o nível de tensão de 88 a 138KV
Subgrupo A3	Para o nível de tensão de 69KV
Subgrupo A3a	Para o nível de tensão de 30 a 44KV
Subgrupo A4	Para o nível de tensão de 2,3 a 25KV
Subgrupo AS	Para sistema subterrâneo

Quadro 2 - Subgrupos do Grupo A
Fonte: Adaptado de ANEEL (2010).

2.2 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A tarifação do consumo de energia elétrica no Brasil ocorre conforme a modalidade de fornecimento, sendo as tarifas do Grupo A subdivididas em três modalidades, estrutura tarifária Convencional, Horo-sazonal Verde, Horo-sazonal Azul.

2.2.1 Tarifa Convencional

Refere-se a um único valor da demanda contratada, que independe de horários ou período do ano. Os consumidores dos subgrupos A3a, A4 ou AS com demandas contratadas menores que 150KW se encaixam na tarifa convencional (ANEEL, 2010).

A fatura da tarifa convencional é formada pela soma das frações referentes ao consumo, demanda e demanda de ultrapassagem quando esta ocorrer. Para a parcela de demanda se multiplica a tarifa de demanda pela demanda contratada ou medida, escolhendo-se a maior entre estas, desde que a medida não exceda a 5% da contratada. Já parcela referente à ultrapassagem passa a ser cobrada apenas quando a demanda medida for superior aos 5% da demanda contratada.

Os consumidores atendidos com tensão entre 2,3KV a 69KV podem decidir pela tarifação convencional quando a demanda é inferior a 150KW, contudo essa opção será extinta em 2016 (ANEEL, 2010)

2.2.2 Tarifa Horo-Sazonal Verde

Esta opção é possível apenas para unidades consumidoras dos subgrupos A3a, A4 e AS, é obtida mediante contrato específico com a concessionária. A demanda é definida sem a diferenciação por horários, mas o consumo é cobrado mediante tarifas específicas para horário de ponta e fora de ponta com valores diferentes para períodos do ano seco (maio a novembro) e úmido (dezembro a abril) (ANEEL, 2010).

Como horário de ponta se define o intervalo de tempo composto por 3 horas diárias consecutivas nas quais o consumo de energia elétrica tende a ser mais elevado. Para a COPEL esse intervalo de tempo ocorre de 2ª a 6ª feira das 18h às 21h no horário de inverno ou das 19h às 22h no horário de verão. Considerando como exceções sábados, domingos e feriados definidos por lei (COPEL, 2013).

A tarifa horo-sazonal verde é a soma das frações de consumo, diferenciado no horário de ponta e fora de ponta, além do período do ano, demanda e ultrapassagem. Os valores de tarifas de consumo tanto para ponta quanto para fora de ponta são mais caros durante o período seco. A diferença da tarifa horo-sazonal

verde consiste em motivar e desmotivar o consumo conforme períodos do dia e do ano, por meio das diferenças tarifárias (ANEEL, 2010).

2.2.3 Tarifa Horo-Sazonal Azul

Obrigatória aos consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3 e opcional para os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS, sendo obtida mediante contrato específico. O consumo e a demanda são cobrados mediante tarifas específicas para horário de ponta e fora de ponta, considerando os diferentes períodos do ano, apenas para o consumo. A fatura formada pela soma das frações referentes ao consumo demanda e ultrapassagem quando ocorrer, sendo ainda as tarifas de ultrapassagem distinguidas por horário. O valor de ultrapassagem é cobrado quando o valor de demanda medida ultrapassa a 5% do valor da demanda contratada (ANEEL, 2010).

2.2.4 Tarifação de energia reativa

A Resolução ANEEL 414 de 2010 define a energia reativa como sendo aquela que circula entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema CA, contudo sem produzir trabalho. No tocante a energia reativa é cobrada a quantidade referente à energia ativa que o sistema perde de transportar no espaço ocupado pela energia reativa, sendo aplicada a tarifa de energia ativa. O excesso de consumo reativo é cobrado somente para o Grupo A, sendo o limite indicado pelo FP > 0,92 (tanto indutivo quanto capacitivo).

Existem duas formas de cobrança sendo elas por meio de avaliação mensal ou horária. No caso de avaliação mensal é considerado o valor médio durante o ciclo de faturamento. Na avaliação horária as energias ativas e reativas são medida de hora em hora, verificando-se o FP < 0,92 capacitivo no intervalo das 23h30 às 6h30 e o FP < 0,92 indutivo nas demais horas do dia (período de 6 horas definido pela concessionária).

Na tarifação convencional o faturamento tanto da demanda como do consumo reativo excedente podem ser medidos mensalmente ou verificado por hora. Para consumidores com tarifação horo-sazonal o faturamento da demanda como do consumo reativo excedente são apenas verificados por hora (ANEEL, 2012).

2.3 SISTEMA DE ENERGIA

Significativos valores de perdas de energia presentes nos sistemas elétricos de transmissão e distribuição no Brasil decorrem em função do crescimento acelerado do consumo e de situações técnicas e operacionais inadequadas, sendo o setor de distribuição responsável por 2/3 das perdas totais. Dentro deste contexto, estão os transformadores de distribuição que apesar de apresentarem avanço na eficiência e um custo relativamente baixo, contribuem com uma parcela significativa das perdas dos sistemas de distribuição. Melhorias neste sistema representariam uma redução significativa no consumo energético, podendo ser obtidas por meio de medidas normativas e avanços tecnológicos (O Setor Elétrico, 2010).

2.3.1 Sistema de distribuição e efeito térmico

Em sistemas de distribuição diversos arranjos de configurações podem ser empregados de forma a atender as condições necessárias para a operação da instalação de grandes e médios consumidores. Alguns fatores são essenciais para determinação da topologia do sistema, podendo citar flexibilidade, eficiência, continuidade de serviço, possibilidade futura de solicitação no aumento de carga, transformadores empregados, condutores utilizados, reguladores inseridos, dispositivos de proteção aplicados e a necessidade posterior de dispositivos de correção do fator de potência (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002; COPEL, 2005).

Para realização da distribuição de energia em nível adequado de tensão é necessário um conjunto de equipamentos que modifiquem as características da tensão e corrente no ponto de entrega. Este conjunto é chamado de subestação do consumidor e encontra-se construída na propriedade particular, alimentado por média ou alta tensão através da subestação de subtransmissão. A subestação do consumidor com capacidade de transformação igual ou superior que 225KVA é formada por cabine de medição primária, cabine de proteção e pelas cabines de transformação. A cabine de medição primária é constituída por transformadores de corrente e de potencial, os quais possuem a função de sensibilizar os relés de proteção na ocorrência de defeitos. Já a cabine de proteção primária é formada por chaves seccionadoras, fusíveis ou disjuntores de proteção geral acionados por relés secundários.

Os quais por sua vez são usualmente precedidos por dispositivos primários de proteção e seccionamento, sendo conectados ao barramento de baixa tensão através de dispositivos secundários de seccionamento e proteção. Entretanto em instalações de médio ou grande porte geralmente utilizam-se arranjos nos quais os transformadores encontram-se ligados em paralelo, fornecendo assim uma maior confiabilidade e flexibilidade de operação. Contudo requer um maior investimento na proteção, uma vez que possui desvantagem em relação ao aumento do nível de curto circuito.

As configurações encontradas em redes de distribuição são basicamente os seguintes sistemas:

- Radial simples;
- Radial com primário em anel;
- Radial com os secundários interligados;
- Radial com primário ou secundário seletivo;
- Radial reticulado simples ou ainda com primário seletivo.

Dentre a concepção de arranjos numerada o sistema radial simples é normalmente o mais empregado na distribuição interna dos circuitos de distribuição. Neste sistema convencional o fluxo de potência flui a partir do ponto de entrega, passando pela subestação, onde a tensão é transformada de forma a atender os quadros terminais (quadros de distribuição secundária) localizados nos centros de carga.

A topologia radial simples não é a escolha mais apropriada quando os circuitos são longos e alimentam centros de carga distantes e com demandas elevadas. Pois na ocorrência de uma falta entre o barramento de distribuição geral da subestação (BT - quadro distribuição primário) provocará a interrupção de serviço de todas as cargas elétricas, restabelecendo o funcionamento após o fornecimento de reparos. Embora o investimento inicial empregado nos sistemas radiais seja menor quando comparados a outros tipos de sistema, estes se apresentam desfavorável em relação à continuidade de serviço e flexibilidade. Devido a isto as proteções primárias são utilizadas com a finalidade de facilitar a localização de defeito e reduzir o conjunto de cargas desligadas na ocorrência de falta nos transformadores (FILHO, 2010).

Todos os componentes do sistema de distribuição apresentam perdas de energia elétrica, alcançando muitas vezes valores consideráveis no consumo de energia e na demanda solicitada pela instalação. As perdas ôhmicas podem ser caracterizadas pela própria resistência dos dispositivos ou devido à resistência de contato das conexões. Em disjuntores, chaves seccionadoras e chaves fusíveis as perdas resistivas são desprezíveis quando dimensionados adequadamente e em excelentes condições operacionais. Entretanto nos barramentos, cabos condutores e conectores as perdas resistivas são mais significativas. Estas perdas ôhmicas inerentes são as perdas de potência elétrica na forma de calor devido à resistência elétrica inerente dos componentes, sendo maior quanto mais elevada for à corrente solicitada pelas cargas (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002; COPEL, 2005).

Já as perdas de contato estão em todas as conexões entre cabos condutores e entre condutores e equipamentos elétricos. Estas conexões podem ser classificadas em conexão por pressão ou conexão por fusão. Estas perdas ôhmicas em conexões são perdas na forma de calor, mas devidas à resistência elétrica no contato entre as partes energizadas, sendo a resistência elétrica maior na medida em que os pontos de contato forem reduzidos. Fatores como aperto precário, oxidação, impurezas, efeito do ciclo térmico sobre a conexão são os causadores deste tipo de resistência. O efeito do ciclo térmico consiste em pequenas movimentações relativas entre as partes conectadas provocadas pela dilatação e contração do material, em função da maior ou menor temperatura, de acordo com a variação da carga. Este deslocamento dos pontos de contato os expõe à oxidação, resultando nos chamados pontos quentes, que podem ser observados quando apresentam superaquecimento e sinais de deterioração do isolamento da ponta do cabo ou da proteção do conector (COPEL, 2005; ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

2.3.2 Transformadores de distribuição

Este equipamento transfere energia elétrica do seu circuito primário para o secundário mantendo a mesma frequência, variando apenas valores de corrente ou tensão. A energia recebida pelo primário da rede é fornecida para secundário subtraindo-se as perdas que ocorrem neste processo de transferência. Estas perdas dependem da construção do transformador e do seu regime de funcionamento. Podendo ser classificadas basicamente em dois tipos, as perdas a vazio que

ocorrem no núcleo magnético ou perdas no ferro e as perdas em cargas provocadas nos enrolamentos, também chamadas de perdas no cobre, ver Figura 1 (COPEL, 2005; WEG, 2013).

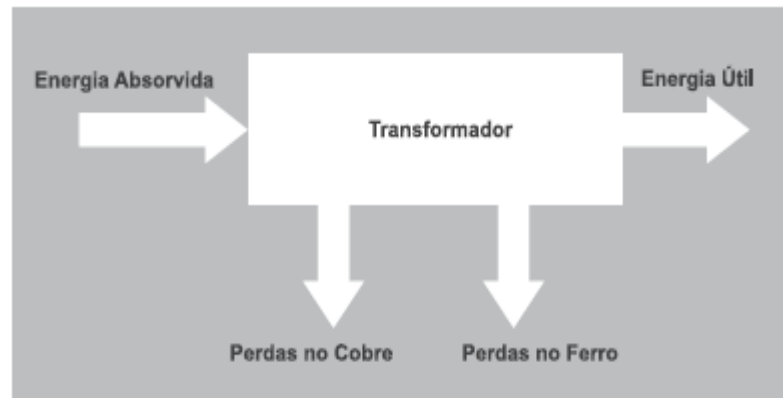


Figura 1 - Processo de transferência de energia em transformadores.
Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL (2002)

As perdas no núcleo magnético são originadas pelas perdas por histerese e correntes de Foucault. As perdas por histerese são ocasionadas pela imantação remanescente do ferro, as quais ocorrem ao submeter o núcleo do transformador a um campo magnético, visto que os ímãs moleculares procuram-se alinhar com este campo e ao tentar acompanhar o campo alternado o material sofre sucessivas imantações nos dois sentidos causando o aquecimento (A.E.FITZGERALD, 2006).

A Figura 2 ilustra o processo de imantação de um material ferromagnético submetido à variação de um campo em um sentido.

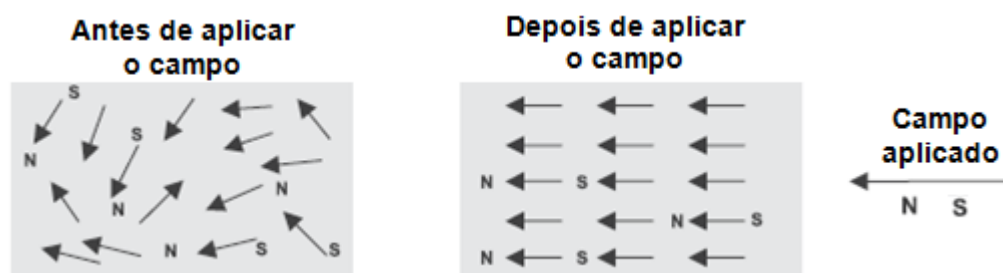


Figura 2 - Fenômeno da Histerese
Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL (2002).

Já as perdas provocadas pela corrente de Foucault são correntes parasitas induzidas, as quais ocorrem devido à força eletromotriz criada pela variação do fluxo magnético. Tornam-se mais significativas nos circuitos magnéticos de maior porte e nos condutores de maior seção. Estas perdas no núcleo são devido às

características do material empregado na fabricação do transformador, não variando com carga solicitada, ou seja, são consideradas constantes, ocorrendo a partir do momento que o transformador esteja ligado à rede elétrica. Para diminuir estas perdas no processo de fabricação utilizam-se núcleos laminados formados por chapas de ferro-silício de pequena espessura separada com uma fina camada de material isolante (A.E.FITZGERALD, 2006).

O segundo tipo de perda classificada como perdas no cobre são oriundas do efeito Joule, sendo provocadas pela passagem de corrente elétrica através dos condutores, ocasionando o aquecimento e variando com a resistência do condutor e com o quadrado da corrente elétrica. Como em um transformador as resistências dos seus enrolamentos podem ser consideradas constantes, afirma-se que as perdas nos enrolamentos variam com o quadrado da corrente de carga, ou seja, dependem da solicitação de carga elétrica. As perdas nos enrolamentos à plena carga são em média três vezes superiores às perdas no núcleo (COPEL, 2005).

Uma referência de perdas nos transformadores pode ser vista na Tabela 1, a qual apresenta as perdas no ferro dos transformadores em KW correspondente as suas respectivas capacidades nominais em KVA (COPEL, 2005).

Tabela 1 - Perdas em KW nos transformadores

POTÊNCIA (KVA)	PERDAS NO FERRO (KW)	PERDAS TOTAIS (KW)
15	0,12	0,46
30	0,20	0,77
45	0,26	1,04
75	0,39	1,53
112,5	0,52	2,07
150	0,64	2,55
225	0,90	3,60
300	1,12	4,48
500	1,35	6,70
750	1,50	13,5
1000	1,90	16,5

Fonte: Adaptado de COPEL (2005).

O rendimento dos transformadores geralmente é elevado, principalmente quando o equipamento possui uma boa qualidade. A soma de suas perdas pode parecer desprezível quando comparado à sua potência nominal, porém torna-se

significativo quando comparado com o consumo do conjunto da instalação, uma vez que estes equipamentos permanecem em funcionamento integral (WEG, 2013).

Apesar dos transformadores serem projetados para operarem adequadamente em condições de carga nominal, quanto maior for à carga, maior será o aquecimento do equipamento, provocando uma redução em sua vida útil. Por isso, para obter-se uma vida útil relevante é recomendável utilizá-lo com carregamento na faixa de 30 a 80 % de sua potência nominal.

Quando um transformador é alimentado e não estiver fornecendo nenhuma potência, as perdas no cobre são praticamente nulas, enquanto que as perdas no ferro estarão presentes. Assim, é aconselhável deixar os transformadores desligados da rede quando não estiverem em serviço, limitando-se assim as perdas em vazio nas horas de baixa carga, porém em período superior a uma semana podem surgir problemas de absorção de umidade (COPEL, 2005; ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O estudo da eficiência energética visa o consumo racional de energia, de forma a consumir apenas o necessário, buscando o máximo de desempenho. A conservação de energia maximiza os investimentos, reduz o custo e melhora a competitividade (COPEL, 2005).

2.4.1 Conservação de energia em circuitos de distribuição

Em circuito de distribuição as perdas nos componentes ocorrem geralmente por existir um dimensionamento inadequado dos elementos, por falhas no projeto, por acréscimo desordenado de cargas, pelo estado precário das conexões e pela falta de um programa de manutenção preventiva, preditiva e corretiva (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

A Norma Brasileira NBR 5410-2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão define a máxima intensidade de corrente admissível nos condutores em função da seção a serem utilizadas. A utilização de condutores não dimensionados corretamente equivale a efetuar desperdícios consideráveis de energia e comprometer a segurança da instalação. Portanto para um dimensionamento

adequado deve-se levar em consideração a queda de tensão e a capacidade de corrente. Inicialmente verifica-se a distância em que os cabos energizados encontram-se dos centros de carga, pois correntes elevadas possuem um transporte muito oneroso, uma vez que para reduzir as perdas por efeito Joule utiliza-se seção maior, diminuindo assim a resistividade. Ou seja, construção de longos circuitos de distribuição terá gastos desnecessários por perdas por dissipação de calor ou por investimentos em seções maiores dos condutores.

O segundo critério avalia a capacidade de passagem de corrente pelo condutor. Se estas recomendações não forem respeitadas os condutores serão submetidos a temperaturas incompatíveis com suas características técnicas. Entretanto em instalações elétricas o objetivo não está somente em calcular a seção adequada, como também a mais econômica para os condutores, levando em consideração parâmetros como o custo do investimento e o preço da energia (COPEL, 2005).

Com a finalidade de conservar a energia emprega-se a projeção dos centros de transformação próximos dos centros de cargas e a utilização de um número maior de transformadores, evitando assim os longos circuitos de maiores seções carregados e desperdícios desnecessários como perdas por efeito Joule. Desta forma recomenda-se analisar todos os circuitos elétricos da instalação industrial e verificar todas as possibilidades de racionalizar as suas disposições físicas, de forma que resulte em um novo arranjo com circuitos menores e carga uniforme entre as fases. Esta medida visa proporcionar uma redução no custo dos condutores e a redução das perdas de energia pela dissipação de calor (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

Outra medida de conservação associada às perdas nos condutores está relacionada à redução da corrente de carga. Ou seja, redução da potência solicitada através da elevação do fator de potência. Lembrando que a corrente elétrica é uma grandeza vetorial e na presença de cargas indutivas apresenta uma componente ativa, a qual produz trabalho, e uma componente reativa, que possibilita a magnetização necessária para o funcionamento, ou seja, a corrente de carga é a soma vetorial das correntes ativa e reativa. Logo a relação entre a corrente ativa e a corrente de carga ou aparente é chamada de fator de potência. Dessa forma, quanto maior for o fator de potência, menor será a corrente de carga que circulará pelos condutores, ocorrendo uma redução nas perdas (COPEL, 2005).

2.4.2 Conservação de energia em transformadores

De toda a energia produzida no Brasil desde a geração até o consumidor final são perdidos aproximadamente 15% de energia. O setor de distribuição é responsável por 70% das perdas que ocorrem em todo o sistema elétrico. Os transformadores de distribuição são responsáveis por 2 % deste valor. Alguns cuidados relacionados aos transformadores de distribuição podem auxiliar na redução desta porcentagem (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

Levado em consideração que a resistência elétrica dos enrolamentos dos transformadores não varia com o seu carregamento, uma das medidas de conservação de energia a ser tomada em transformadores está na distribuição de cargas e na elevação do fator potência. Ambas resultarão em uma menor solicitação de potência, logo a corrente de carga requerida pelo transformador será menor, conseqüentemente serão menores as perdas nos enrolamentos (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

A redução pela adequação da distribuição das cargas elétricas em instalações com mais de um transformador está associada à finalidade destes serem projetados para operarem com o carregamento elevado. Desta forma, se existir vários transformadores em uma instalação, deve-se dividir as cargas instaladas de forma uniforme, a fim de se estabelecer níveis de carregamento adequados. Uma medida a ser tomada é efetuar medição de corrente nas fases do transformador para verificação do carregamento com a finalidade de manter o equilíbrio entre elas, reduzindo a corrente que flui pelo neutro e como consequência realizando uma redução nas perdas. Em caso de um dos transformadores não estarem trabalhando em determinados períodos próximo à potência nominal, sendo possível, o desligamento deste transformador seria uma forma de eliminar perdas reativas, uma vez que estão presentes a partir do momento em que é ligado. E na ocorrência de apenas uma parcela da instalação funcionar nos finais de semana, esta medida também deve ser aplicada.

Entretanto, se a instalação está operando com um transformador carregado no limite de seu carregamento é aconselhável a sua substituição por outro de maior capacidade ou a realização de um projeto de readequação. Isto é relevante, uma vez que para se reduzir as perdas no cobre produzidas por um transformador deve-se procurar diminuir o consumo de energia causado pelo efeito Joule.

Transformadores operando com sobrecargas estarão com perdas elevadas, sendo estas perdas proporcionais ao quadrado das correntes elétricas que circulam no transformador (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002; COPEL, 2005).

Já a redução pela elevação do fator de potência ocorre devido à diminuição da componente indutiva, reduzindo assim o valor da corrente aparente. Para se adquirir um elevado fator de potência em uma instalação elétrica são necessárias algumas providências, como (COPEL, 2005):

- O equipamento deve trabalhar com a potência de operação próxima à potência nominal. Evitando se assim operar uma carga indutiva em vazio;
- Em caso de operação abaixo da potência nominal, instalar bancos de capacitores para compensar a potência reativa necessária para o funcionamento de cargas indutivas;
- Não se deve trabalhar sobrecarregado, ou seja, não se deve ultrapassar valor de plena carga;
- Redistribuir adequadamente as cargas para um aproveitamento mais eficiente dos condutores com a finalidade de evitar que alguns condutores trabalhem sobrecarregados e outros subcarregados. Mantendo assim a rede trifásica balanceada;
- Aumentar a tensão de operação para que a corrente solicitada tenha seu valor reduzido.

Outros fatores consideráveis na conservação de energia são a forma como os transformadores se encontram ligados em uma instalação. A utilização de transformadores ligados em paralelo é uma medida também encontrada em instalações industriais, no entanto pode ocorrer outro tipo de perda que é ocasionada pela diferença de transformação dos equipamentos. Neste tipo de ligação, quando a diferença na relação de transformação dos equipamentos for significativa, ocorre uma circulação de corrente entre os transformadores causando perdas. A fim de se evitar o surgimento deste tipo de perdas, devem-se utilizar transformadores com potências e impedância preferencialmente iguais e ajustar a relação de transformação (COPEL, 2005; ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

Grande parte dos transformadores possui refrigeração com líquido isolante (óleo mineral ou silicone) caracterizado pela elevada rigidez dielétrica. Nos quais é necessário uma avaliação periódica das condições do óleo para realização de tratamento caso o índice de rigidez dielétrica e o índice de acidez atinja valores limite. Este procedimento evita desgastes e gastos futuros, pois preserva a vida útil do equipamento e diminui o aquecimento (WEG, 2013).

2.4.3 Correções do fator de potência

A potência ativa é aquela que produz trabalho e a potência reativa é a responsável pela geração do campo magnético, entretanto esta ocupa um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais potência ativa. A soma vetorial da potência ativa com a potência reativa fornece o valor total da potência que circula pelo sistema elétrico, esta potência recebe o nome de potência aparente. A relação entre as potências ativa, reativa e aparente são representadas por um triângulo retângulo onde a hipotenusa representa a energia aparente (KVA), o cateto adjacente a potência ativa (KW) e o cateto oposto a potência reativa (KVA_r). O ângulo entre a potência aparente e a ativa representa o fator de potência.

O fator de potência (FP) é um índice que mede o percentual da potência fornecida ao sistema (KVA) que está sendo convertido em trabalho (KW) em um determinado período, ou seja, mede o grau de eficiência de utilização da instalação. Valores altos de fator de potência indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam um aproveitamento não satisfatório, apresentando uma sobrecarga para o sistema elétrico do consumidor e da concessionária. Este fator pode ser obtido na Equação 1 (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002; COPEL, 2005).

$$FP = \frac{\text{Potência Ativa}}{\text{Potência Reativa}} = \frac{KW}{KVA} = \cos \theta \quad (1)$$

Na correção do fator de potência é adicionada uma potência reativa Q_c com a finalidade de diminuir a potência reativa solicitada no ponto de entrega ou diminuir a potência reativa circulante na rede de distribuição interna, porém a potência ativa se mantém constante. A adição desta nova potência reativa assegura uma nova

potência aparente com valor abaixo do solicitado anteriormente, tendo como consequência um novo valor de ângulo, ou seja, uma elevação no fator de potência.

A Equação 2 expressa o valor de capacitância necessário para a adição de uma quantidade de potência reativa capacitiva e a Equação 3 expressa o valor de redução das perdas na rede de distribuição, considerando que toda a carga do sistema está no fim da rede (NISKIER, 2005).

$$C = \frac{P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)}{\omega \times V^2} \quad (2)$$

Onde:

C - Capacitância inserida no sistema

P - Potência ativa

θ_1 - Ângulo inicial

θ_2 - Ângulo final

ω - Frequência angular

V - Tensão da rede

$$\Delta P\% = \left[1 - \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right] \quad (3)$$

Onde:

$\Delta P\%$ - Redução porcentual de perdas

$\cos \theta_1$ - Fator de potência inicial

$\cos \theta_2$ - Fator de potência desejado

As principais causas do baixo fator de potência em uma instalação são as lâmpadas de descarga, motores trabalhando a vazio ou superdimensionados, transformadores trabalhando a vazio ou superdimensionados e ainda nível de tensão acima da nominal. Todos estes exemplos consomem uma energia reativa relativamente grande quando comparadas com a energia ativa, contribuindo para a diminuição do fator de potência. Como consequência disto, tem-se (NISKIER, 2005):

- Flutuação de tensão e dificuldade de regulação do sistema;
- Sobrecarga e aumento do desgaste nos dispositivos do sistema;

- Saturação da capacidade devido à perda significativa de potência;
- Aumento no investimento dos condutores e equipamentos utilizados na rede interna;
- E algumas vezes interrupção do fornecimento de energia.

Quando os sistemas elétricos operam com os excedentes de reativos, estes ocupam desnecessariamente o lugar da componente ativa do sistema, circulando entre a carga e a fonte de alimentação. Com isto ocorre um aumento na corrente aparente da unidade consumidora e da rede da concessionária, sobrecarregando as linhas de distribuição e transmissão, prejudicando a estabilidade e ocupando espaço no sistema elétrico de potência. Portanto, torna-se necessário tomar medidas para a diminuição da potência reativa indutivos, possibilitando um aumento de potência ativa, sem a ampliação da capacidade dos transformadores de distribuição e circuitos elétricos.

A injeção de reativos capacitivos é uma valiosa ferramenta para melhorar as regulações de tensão eficiência de equipamentos bem como para reduzir as perdas e as correntes elétricas nos circuitos de instalações industriais e comerciais de grande porte.

A legislação do setor elétrico atualmente estabelece a cobrança da quantidade de energia ativa que poderia ser transportada no espaço da energia reativa excedente. Este método regulamenta o sistema a trabalhar com um dimensionamento aceitável, evitando que a fornecedora de energia invista em equipamentos corretivos para suprir o excesso de energia reativa proveniente das instalações dos consumidores. De acordo com a legislação vigente, o fator de potência deve ser controlado de forma permanente dentro do limite de 0.92 indutivo e 0.92 capacitivo. Uma vez que todo o excesso de energia reativa é prejudicial ao sistema elétrico de potência, quer seja o indutivo que é absorvido pela unidade consumidora ou o capacitivo fornecido pela unidade mediante capacitores à rede. Segundo a ANEEL, Resolução nº 414 de 2012, a energia e demanda reativa deve ser cobrada conforme os horários do dia.

A energia ativa e reativa são medidas de hora em hora, de modo que durante o período compreendido entre as 6h30 e 23h30 apenas o fator de potência indutivo é verificado ($FP > 0,92$). No período complementar das 6h30 até 23h30 é cobrado pelos reativos capacitivos ($FP < 0,92$). De modo que os reativos capacitivos

devem ser desligados durante o período em que as cargas indutivas se encontram desligadas, já que para o reativo capacitivo excedente serão aplicados os mesmos critérios de cobrança que ao reativo indutivo pela concessionária. A Figura 3 ilustra o intervalo permitido do fator de potência (NISKIER, 2005).

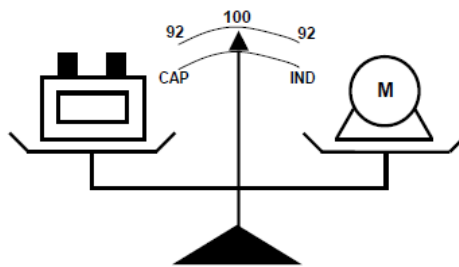


Figura 3 - Limite indicado para o fator de potência
Fonte: Adaptado de CODI (2004)

Para a correção do fator de potência são utilizados banco de capacitores com ligação em paralelo conectado no ponto da carga ou através da inserção de máquinas síncronas. Existem basicamente três tipos de banco de capacitores, os programáveis, os automáticos e os estáticos. A determinação da potência reativa capacitiva a ser adicionada pode ser obtida pelas expressões deduzidas anteriormente. Os bancos de capacitores programáveis podem atuar em condições pré-definidas de acordo com a necessidade específica. Já os bancos de capacitores automáticos realizam uma compensação automática por meio de sinais de tensão e corrente ligando e desligando módulos capacitivos de acordo com a necessidade. Quanto ao banco de capacitores estáticos é recomendado para a correção de cargas constantes, tais como transformadores. Podendo a instalação ser realizada em quatro pontos distintos do sistema elétrico, junto às grandes cargas indutivas, no barramento geral de baixa tensão, na extremidade dos circuitos alimentadores e na entrada de energia:

- Instalação de banco de capacitores junto às grandes cargas indutivas - Neste tipo de instalação, a localização do banco de capacitores encontra-se junto a transformadores, motores ou reatores. O banco fornece a energia reativa necessária ao funcionamento destas cargas indutivas, deixando estes de solicitá-la da rede. Assim, os reativos são gerados somente onde é necessário sem circular pelo barramento, circuito alimentador quando não necessário, aliviando todo o sistema

elétrico. Com isto melhora-se o nível de tensão, diminui a carga nos circuitos de alimentação, reduz as perdas por aumento de corrente e melhora o fator de potência, o sistema é representado na Figura 4.

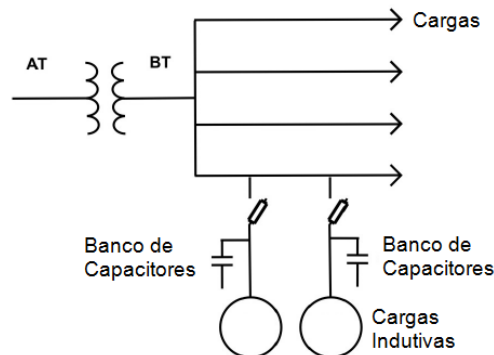


Figura 4 - Instalação de banco de capacitores junto a Cargas Indutivas
Fonte: Adaptado de COPEL (2005)

- Instalação de banco de capacitores no barramento geral de baixa tensão - Os bancos de capacitores são colocados no circuito geral da saída do transformador no lado de baixa tensão. A desvantagem esta tipo de instalação está no fato de que a rede de distribuição interna não será aliviada no transporte de reativos. Entretanto a manutenção torna-se mais fácil, em virtude de que os bancos estão concentrados em um único ponto, facilitando a supervisão e o acréscimo de capacitores adicionais. Outro fator positivo é o custo apreciável, dado que a compra de muitos capacitores de pequena potência implica um custo mais elevado do que a compra de um capacitor de potência maior. É importante ressaltar que haverá a necessidade de instalação de bancos automáticos, permitindo assim desliga-los quando o consumidor finalizar suas atividades diárias. Caso contrário, poderá ocorrer sobretensões indesejáveis que causarão danos às instalações elétricas, a Figura 5 representa o sistema descrito:

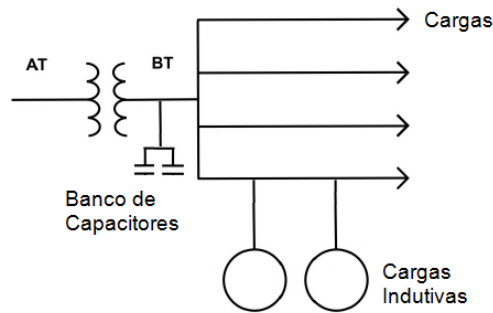


Figura 5 - Instalação de banco de capacitores no barramento geral de baixa tensão
Fonte: Adaptado de COPEL (2005)

- Instalação de banco de capacitores nas extremidades de circuitos alimentadores - É instalado o banco de capacitores onde há a necessidade de compensação individual, por exemplo, para suprir um determinado grupo de equipamentos pertencentes a um dado setor. Este método aproveita a diversidade entre as cargas a serem supridas, aliviando o circuito alimentador. Este método é representado na Figura 6, porém o investimento é superior às alternativas anteriores.

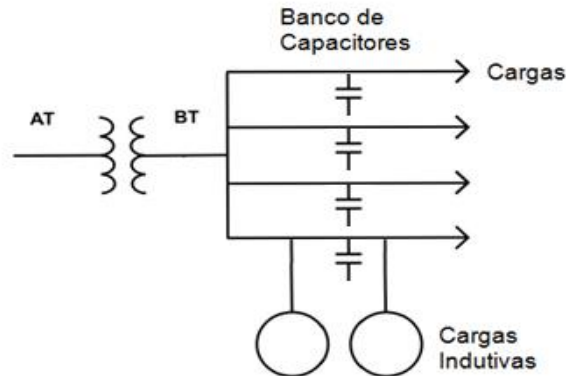


Figura 6 - Instalação de banco de capacitores em circuitos alimentadores
Fonte: Adaptado de COPEL (2005)

- Instalação de banco de capacitores na entrada de energia - Este método de implementação de bancos de capacitores no lado de alta tensão não é o mais utilizado, uma vez que dentro da unidade consumidora ainda permaneceriam sobrecarregados pela utilização de energia reativa. E exigiriam dispositivos de comando e proteção com isolamento em tensão primária, o sistema é representado na Figura 7.

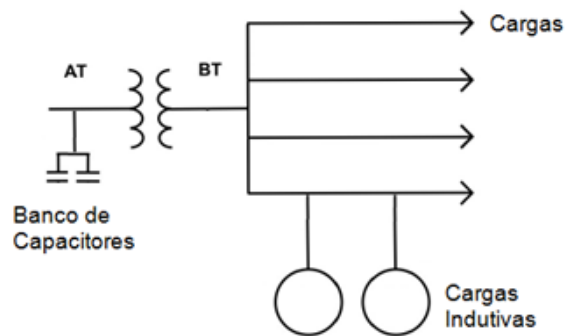


Figura 7 - Instalação de banco de capacitores na entrada de energia
Fonte: Adaptado de COPEL (2005)

A compensação de reativos também pode ser realizada através da implementação de motores síncronos, os quais geram ou absorvem dinamicamente o reativo necessário da barra à qual está conectado, possuindo um funcionamento semelhante aos geradores convencionais. Entretanto os motores síncronos são equipamentos de alto custo, justificando sua aplicação economicamente somente para potências elevadas e funcionamento por longos períodos de tempo (COPEL, 2013; ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

2.5 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO

A funcionalidade de equipamentos é de suma importância em empresas e indústrias devido aos prejuízos ligados ao tempo de inatividade, sendo os custos de manutenção uma porcentagem representativa dos custos totais. Manter a funcionalidade de um sistema requer manutenção rotineira e reparos programados. Práticas estas que abrangem a conservação, adequação, restauração e substituição de equipamentos, em meio a isso se encontram os sistemas de manutenção, preditivo, preventivo e corretivo como forma de organização para a obtenção de bons resultados (FERNANDES et al., 2010).

2.5.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva se refere à manutenção efetuada em virtude da ocorrência de uma falha, tendo como intuito a recomposição do sistema, de modo a corrigir e recuperar a capacidade produtiva de um determinado equipamento, ou instalação, que por motivos adversos tenha perdido parcial ou totalmente sua

capacidade de exercer a função para a qual foi projetado. Se trata da intervenção imediata e em sua maioria não planejada, exigindo que se tenham oficinas adequadas de modo a agilizar os serviços requeridos.

Esse método tem alto custo devido à necessidade de estoques de peças e o tempo de interrupção da linha de produção. Sendo necessária muitas vezes a interrupção do sistema para manutenção de equipamentos em momentos inoportunos para a produção (OLIVEIRA, 2012; FERNANDES et al., 2010).

2.5.2 Manutenção preventiva

Manutenção Preventiva se trata da manutenção realizada dentro de intervalos predefinidos com o intuito de reduzir falhas. Tem como vantagem a melhoria na continuidade de funcionamento do sistema considerando que as interrupções ocorrem em momentos programados, correspondendo à redução do tempo de parada de equipamentos. Sua finalidade primordial é a prevenção de ocorrências de falhas e interrupções no sistema, contudo a manutenção preventiva eleva também as expectativas em relação à redução de envelhecimento e deterioração de equipamentos e na redução de custos (OLIVEIRA, 2012; FERNANDES et al.).

2.5.3 Manutenção preditiva

Manutenção Preditiva se trata da manutenção que se propõem a assegurar a qualidade do serviço por meio da aplicação de técnicas de análise, supervisão e de amostragem de dados. Isto possui a finalidade de detectar as reais condições de operação dos equipamentos do sistema, favorecendo a manutenção preventiva e evitando a manutenção corretiva não planejada. Ou seja, a manutenção prevê a vida útil dos equipamentos e seus desgastes antevendo possíveis falhas. Seus objetivos são (FERNANDES et al.; OLIVEIRA, 2012):

- Determinar com antecedência a necessidade de manutenção;
- Prever falhas eminentes;
- Reduzir manutenções de emergência;
- Aumentar o grau de confiabilidade do sistema;
- Reduzir custos com manutenção.

2.6 TERMOGRAFIA

Na sequência são abordados os conceitos relacionados às técnicas termográficas, tais como conceituação de radiação térmica, definição da técnica termográfica, princípios de funcionamento e os cuidados a serem observados durante as medições como o ajuste da emissividade do material e temperatura aparente refletida.

2.6.1 Eletro termografia

A termografia é uma técnica não destrutiva de inspeção por meio de equipamentos sensíveis a radiação infravermelha que permite a formação de termogramas para a posterior observação da distribuição de calor, de maneira que anomalias responsáveis por descontinuidades possam ser reconhecidas, não ocorrendo o contato físico. Objetos com temperatura diferente de zero absoluto emitem radiação, sendo a maior parte emitida com comprimento de onda característico à região do infravermelho. Segundo a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção é capaz de medir a distribuição de temperatura em sistemas elétricos e equipamentos, permitindo a obtenção de informações referentes à operacionalidade do sistema (ABENDI, 2012; FRAGA, TAVARES e ROSSI, 2009).

Com a termografia é possível medir a temperatura superficial de um objeto, contudo não é possível detectar fontes de calor localizadas atrás de vidros ou plásticos, salvo exceções como janelas infravermelhas, feitas de material desenvolvido para permitir a passagem de radiação infravermelha (BRITO, LAMIM FILHO e ALVES, 2013; TESTO, 2012; Projeto de revisão NBR15572, 2013).

Entre as aplicações da termográfica estão a detecção de umidade em construções, inspeção em equipamentos mecânicos, dispositivos automatizados ou inspeção de equipamentos elétricos, porém é mais comumente utilizada para a averiguação em sistemas elétricos de potência (BETZ, 2012; VALLE, 2009).

As alterações térmicas em sistemas elétricos em sua maioria são elevações de temperatura devido a um aumento incomum da resistência, consequência de conexões soltas, desequilíbrios de carga, sobrecarga, desbalanceamento de fase ou

defeitos causados por ventilação insuficiente, conforme abordado no item 2.3.1. Dessa forma o componente defeituoso apresenta um ponto quente se comparado com componentes similares em estado normal de funcionamento. Contudo há casos em que o componente defeituoso apresenta temperatura inferior ao em excelente estado, caso, por exemplo, de um motor que indique um sobreaquecimento somente por estar suportando a carga total do sistema e não por apresentar defeitos (FRAGA, TAVARES e ROSSI, 2009; TESTO, 2012; FLIR SYSTEMS, 2007).

A análise termográfica de uma instalação elétrica necessita que o sistema esteja em funcionamento. E segundo Betz para avaliação dos pontos fracos é recomendável que a carga seja igual ou superior a 30% da nominal, contudo o projeto de revisão da NBR15572 recomenda carga não inferior a 40% (Projeto de revisão NBR15572, 2013; BETZ, 2012; ABENDI, 2012).

É conveniente realizar as medições aproveitando-se de regiões com oxidação, corrosão, sujeira ou cavidades, devido ao aumento do valor de emissividade. Também é indicado evitar medições diurnas ou quando necessárias realizá-las de manhã ou ao entardecer. Quando inevitável observar o componente de diversos ângulos de modo a diferenciar aquecimentos de reflexões. Também não se deve realizar medições durante dias muito ventosos (acima de 20Km/h), chuva, garoa, neblina e com umidade relativa do ar superior a 90% (Projeto de revisão NBR15572, 2013; PETROBRÁS, 2010; BETZ, 2012).

Empresas de grande porte e concessionárias de energia tais como Copel e Petrobrás, vêm criando banco de dados referentes ao histórico de temperatura de componentes elétricos e mecânicos, além de avaliações após reparos realizados com base em dados termográficos, sendo recomendado a realização de inspeções periodicamente a cada 6 meses (Projeto de revisão NBR15572, 2013; PETROBRÁS, 1998; COPEL; PETROBRÁS, 2010).

Na inspeção termográfica a observação do comportamento da temperatura ao longo dos equipamentos permite a obtenção de informações tais como a homogeneidade da carga diferenciando o motivo do aquecimento, seja uma avaria no equipamento, desbalanceamento de carga ou carga assimétrica entre as três fases do sistema. Na Figura 8.a demonstra um exemplo de desbalanceamento de carga já que há uma uniformidade da temperatura ao longo dos cabos e na Figura 8.b uma condição de carga assimétrica.

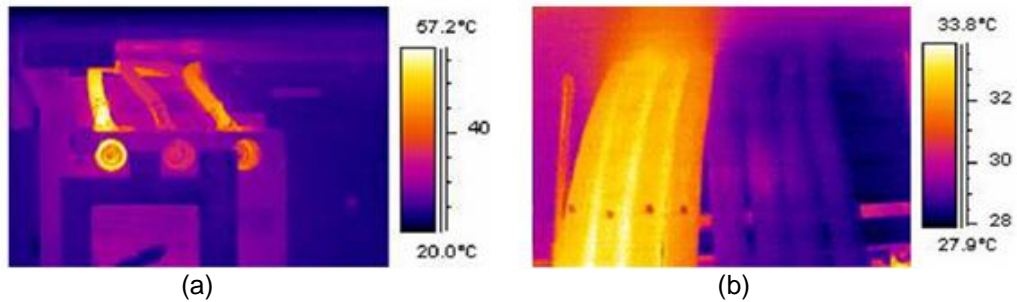


Figura 8 - Carga assimétrica
Fonte: FLIR SYSTEMS (2007)

2.6.2 Radiação térmica

Os corpos em sua maioria são visualizados pela luz que refletem e não pela que emitem, de modo que se nenhuma luz incidir sobre a superfície não se pode visualiza-los. Porém quando aquecidos a altas temperaturas passam a ter luminosidade própria. Como exemplo, um pedaço de ferro em que no início do seu aquecimento pode-se sentir a radiação térmica emitida e com o aumento de sua temperatura é possível vê-lo, sem a incidência de luz externa apenas pela luz que emite numa sequência de cores, variando do vermelho escuro até o branco-azulado em altas temperaturas. Como 90% da radiação térmica dos corpos encontram-se na região do infravermelho, somente é possível visualizar a olho nu em temperaturas muito elevadas.

O comprimento de onda da radiação infravermelha esta situado entre 10^{-4} e 10^{-6} metros, antes do intervalo da luz visível, conforme pode ser observado na Figura 9. Embora a radiação infravermelha seja invisível é possível captá-la devido às suas propriedades de aquecimento, apesar de uma onda eletromagnética não necessitar de um meio de propagação (FRAGA, TAVARES e ROSSI, 2009).

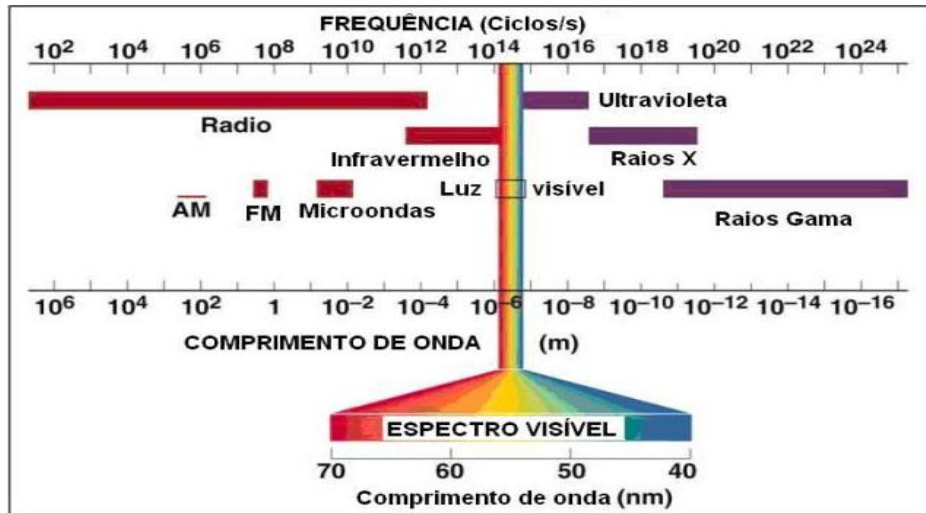


Figura 9 - Radiação eletromagnética
Fonte: FRAGA, TAVARES e ROSSI (2009)

A distribuição espectral da radiação em um corpo não depende apenas da sua temperatura, dependendo também do material do qual é formado. Nesse contexto, o corpo capaz de absorver toda a radiação incidente é idealizado como sendo “corpo negro” e apresenta reflexibilidade e transparência igual à zero, ver Figura 10.

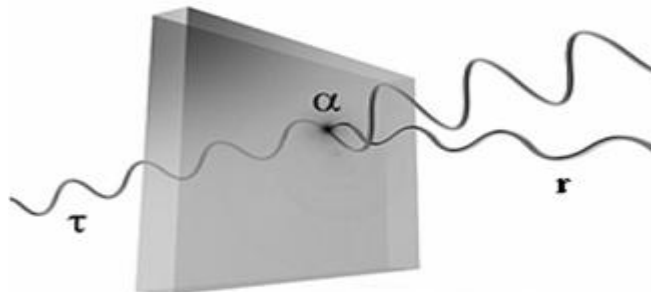


Figura 10 - Absorção, reflexão e transmissão.
Fonte: ÁLVARES (2008)

A Figura 10 representa o comportamento da absorção (α), reflexão (r) e transmissão (τ) da radiação infravermelha em um dado material descrita na Equação 4 (SUESUT et al., 2011):

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (4)$$

Em condições de equilíbrio térmico, a absorção não sofre variações e a emissão (ϵ) é total para um corpo negro, independente do comprimento de onda.

Dessa forma a emitância radiante do corpo negro depende apenas da sua temperatura, entendendo como emitância radiante a potência total emitida por unidade de área em uma superfície. Assim a emissividade de um corpo será definida como sendo a relação entre a sua capacidade de emissão e a de um corpo negro na mesma temperatura.

Como um corpo real emite menos radiação que o corpo negro, este é caracterizado por uma emissividade menor que 1. A relação entre a temperatura e a radiação eletromagnética é descrita pela lei de Stefan Boltzmann na Equação 5 (FRAGA, TAVARES e ROSSI, 2009; TESTO; BETZ, 2012):

$$W = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (5)$$

Na qual W indica a intensidade de radiação, T a temperatura em Kelvin e σ é a constante de Stefan Boltzmann $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4}$. Sendo que para um corpo negro perfeito é considerado a emissividade igual a 1.

A relação entre emissividade, reflexibilidade e transmitância pode ser percebida conforme o Quadro 3 (Interaction of light and substance, 2013; BETZ, 2012).

EMISSIVIDADE – REFLEXIBILIDADE - TRANSMITÂNCIA	
Corpo negro	$\varepsilon = 1; \quad \rho = \tau = 0$
Espelho perfeito	$\rho = 1; \quad \varepsilon = \tau = 0$
Corpo transparente	$\tau = 1; \quad \varepsilon = \rho = 0$

Quadro 3 - Relação entre emissividade, reflexibilidade transmitância.
Fonte: Adaptado de FRAGA, TAVARES e ROSSI (2009)

A emissividade refere-se à eficiência com a qual o material em questão emite radiação infravermelha, sendo o parâmetro de maior influência nos resultados de uma medição termográfica, se configurado incorretamente os valores de temperatura não corresponderam ao valor real, particularmente se o valor da emissividade for relativamente baixo. Muitos materiais não metálicos empregados em instalações elétricas possuem valores bem significativos, tais como o PVC, não dependendo da temperatura. Já metais especialmente com superfície lisa, brilhante ou polida possuem baixo valor aproximado do valor zero estipulado para espelho

perfeito no Quadro 3, tais superfícies estão sujeitas a reflexões especulares e necessitam de maior cuidado durante as medições. O Quadro 4 relaciona os materiais mais utilizados na área de instalações elétricas.

NÍVEL DE EMISSIVIDADE PARA SISTEMAS ELÉTRICOS	
Borracha, plástico, fita isolante	0,93
Cerâmica, porcelana, vidro	0,92
Cobre	0,65
Tinta, esmalte	0,95
Chapa de aço	0,56
Alumínio polido	0,05

Quadro 4 - Valores de emissividade
Fonte: Adaptado FLUKE e Tabelas de Emissividade (2009; 2013)

A câmera de infravermelho capta além da radiação emitida pelo objeto, radiações oriundas de outras fontes, como próprio reflexo do operador. Materiais tais como o metal não oxidado, que possuem superfícies polidas refletem a radiação térmica de forma similar ao que um espelho faz com a luz visível. Tais reflexões tendem a acarretar erros indicando falsos pontos de aquecimento. Nesse contexto peças pintadas ou revestidas tais como as com isolamento em borracha são mais adequadas para a determinação da temperatura por meio de termografia.

É necessária a adequada configuração da temperatura aparente refletida para a compensação de emissões referentes a radiação solar que possam ser refletidas a partir do equipamento medido para a câmara. Esse parâmetro pode ser definido com sendo a temperatura do ar, em medições com o tempo nublado, e de fato a temperatura aparente refletida corresponde à temperatura ambiente em muitas aplicações. Sendo que em objetos com baixo valor de emissividade o valor da temperatura aparente refletida tem maior influência, isso porque maior será a porcentagem de radiação refletida e conseqüentemente maior a dificuldade em realizar medições precisas.

O valor da temperatura aparente refletida pode ser determinado segundo a literatura de diversas formas, uma delas se refere ao radiador Lambert, que considera o fato de o ângulo de radiação refletida ser sempre o mesmo de incidência. O radiador Lambert reflete a radiação incidente com a mesma intensidade em todas as direções, na ausência deste objeto pode ser substituído por uma folha de papel alumínio amassado, pois este possui alta refletância e provoca

reflexão difusa. Para a determinação da temperatura aparente refletida é colocado a folha de alumínio ou radiador próximo a superfície a ser medida e ajustado a emissividade na câmera infravermelho para 1, deixando a reflexibilidade em zero, na sequência é realizado a medição da temperatura da folha. Este será o valor de temperatura aparente refletida que deve ser inserido na câmera infravermelho para posterior análise termográfica no ambiente em questão.

2.6.3 Critérios de classificação de anomalias

O critério para a classificação dos componentes analisados é responsável por definir a gravidade do defeito e a prioridade de intervenção. Sua principal vantagem se refere a permitir que medições realizadas em situações não ideais, carga inferior a 100% e velocidade do vento significativa, tenham seus dados convertidos de forma a apresentar resultados coerentes com uma situação ideal de medição. Esta metodologia é a mesma utilizada por empresas como Petrobrás, Siemens e Eletronuclear (VERATTI, 2013).

Inicialmente estabelece uma estimativa da carga do sistema através da relação entre a corrente nominal e a corrente medida, determinando assim o fator de correção de carga como descrito na Equação 6. Entretanto este método é aplicado para cargas iguais ou superiores a 50% da carga nominal (PETROBRÁS, 1998; VERATTI, 2013).

$$FCC = \left(\frac{I_n}{I_m} \right)^2 \quad (6)$$

Onde:

FCC = Fator de correção de carga

I_n = Carga nominal (ampères)

I_m = Carga medida (ampères)

Tabela 2 - Correção de velocidade de vento

FATOR DE CORREÇÃO DE VELOCIDADE DO VENTO (FCVV)							
Velocidade do Vento (m/s)	Até 1	2	3	4	5	6	7
FCVV	1,00	1,37	1,64	1,86	2,06	2,23	2,39

Fonte: Adaptado de PETROBRÁS (1998)

Tabela 3 - Correção do fator de carga

FATOR DE CORREÇÃO DE CARGA (FCC)											
Carga%	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
FCC	1,00	1,11	1,23	1,38	1,56	1,77	2,00	2,37	2,78	3,30	4,00

Fonte: Adaptado de PETROBRÁS (1998)

A Equação 7 apresenta a definição do estado de aquecimento do componente, considerando inicialmente a diferença entre a temperatura do meio e a do objeto, além dos fatores de correção encontrados na Tabela 2 e Tabela 3:

$$\Delta TC = [(T_m - T_a) \cdot FCC \cdot FVV] \quad (7)$$

Onde:

ΔTC - Elevação de temperatura corrigida com carga nominal (100%)

T_m - Temperatura medida do componente

T_a - Temperatura ambiente

FCC - Fator de correção de carga

FVV - Fator de correção de velocidade do vento

O Fator de Elevação de Temperatura é uma grandeza adimensional que expressa percentualmente o sobreaquecimento com finalidade classificar as providências recomendadas (manutenção imediata, programada, em observação, normal), ver Quadro 5. Portanto é preciso conhecer a temperatura máxima admissível na qual o equipamento opera em regime normal de funcionamento, subtraindo desta a temperatura do ambiente para não exceder o limite permitido de cada objeto, de acordo com a parte inferior da Equação 8 e Quadro 5 (PETROBRÁS, 1998; VERATTI, 2013):

$$FET = \frac{\Delta TC}{MTA - T_a} \quad (8)$$

Onde:

MTA - Máxima temperatura admissível

FATOR DE ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA (FET)	CLASSIFICAÇÃO TÉRMICA	PROVIDÊNCIA
0,9 ou mais	Severamente aquecido	Manutenção imediata
0,6 a 0,9	Muito aquecido	Manutenção programada
0,3 a 0,6	Aquecido	Em observação
Até 0,3	Normal	Normal

Quadro 5 - Critérios de classificação
Fonte: PETROBRÁS (1998)

Os valores de MTA são obtidos em especificações técnicas dos componentes ou através de ensaios e experiências em campo. Alguns valores de MTA se encontram relacionados no Quadro 6, baseados em normas ABNT (NBR 5410) e referências da IEC e tabelas de fabricantes. Não sendo factível a obtenção desses valores é proposta a fixação de 90°C como MTA para conexões e componentes metálicos e 70°C no caso de cabos isolados.

COMPONENTE INDUSTRIAL	MTA (°C)
Condutor encapado (Isolação de Cloreto de Polivinila, PVC)	70
Condutor encapado (Isolação de Borracha Etileno Propileno, EPR)	90
Condutor encapado (Isolação de Polietileno Reticulado, XLPE)	90
Régua de Bornes	70
Conexões Mediante Parafusos	70
Conexões e Barramentos de Baixa Tensão	90
Conexões Recobertas de Prata ou Níquel	90
Fusível (corpo)	100
Componente de AT em SEs de distribuição	Ponto mais aquecido
Seccionadoras	50
Conexões	60
Cabos	60
Contatos, articulações de seccionadoras e disjuntores	100
Transformadores a óleo - conexões	90
Transformadores a óleo - corpo	80
Transformadores secos ponto mais aquecido	Ponto mais aquecido
Classe de Isolação 105	65
Classe de Isolação 130	90
Classe de Isolação 155	115
Classe de Isolação 180	140

Quadro 6 - Máxima temperatura admissível (MTA).

Fonte: Adaptado de BRITO, LAMIM FILHO e ALVES, VERATTI, ENGELETRICA, SANTOS (2013; 2010; 2013)

3 METODOLOGIA

O sistema elétrico da Universidade UTFPR – Campus Pato Branco foi recentemente reformulado e ampliado com a finalidade de suprir uma demanda referente a um período aproximado de 5 a 10 anos posteriores. A Universidade é um consumidor de médio porte, possuindo uma demanda em torno de 300KW, podendo ser caracterizada como consumidor do grupo A.

A rede interna da Universidade possui uma subestação com capacidade de 1400KVA, a qual compõe uma cabine de medição e proteção primária e quatro cabines de transformação, as quais reabaixam a tensão de 13,8KV (tensão média) para 220/127V. Estas cabines de transformação encontram-se instaladas em áreas distintas dentro da propriedade da Instituição, três destas possuem uma capacidade nominal de 300KVA e uma de 500KVA.

Inicialmente foi avaliada a tarifa de energia elétrica da Instituição com intuito de comparação com os dados adquiridos ao longo do trabalho. Para a realização do registro das condições do sistema de distribuição no lado de baixa tensão foram coletadas grandezas elétricas nos quatro quadros gerais de baixa tensão através de um analisador de grandezas. Estas medições tiveram início dia 27/03/2013 com um prazo de uma semana em cada transformador, encerando no dia 24/04/2013.

Após o levantamento de dados com o analisador iniciou-se as coletas das imagens térmicas, as quais foram realizadas de acordo com horário de maior demanda registrado, seguindo os critérios estabelecidos por Norma para a aplicação das técnicas termográficas. Estas medidas foram realizadas em todas as cabines de transformação com imagens coletadas dos cabos, conexões, barramentos, dos elementos de proteção, buchas e do tanque dos transformadores. A coleta ocorreu no intervalo aproximado de dois dias para cada cabine, totalizando um prazo de duas semanas.

Os itens a seguir abordarão as sequências necessárias para operação das coletas com o analisador e com o termovisor, também serão explicadas como foram processadas e verificadas as informações. O diagrama unifilar, Figura 11, representa o arranjo do sistema de distribuição atual, onde as marcações em vermelho indicam o local aonde foram coletadas as medições com analisador e em azul as imagens térmicas.

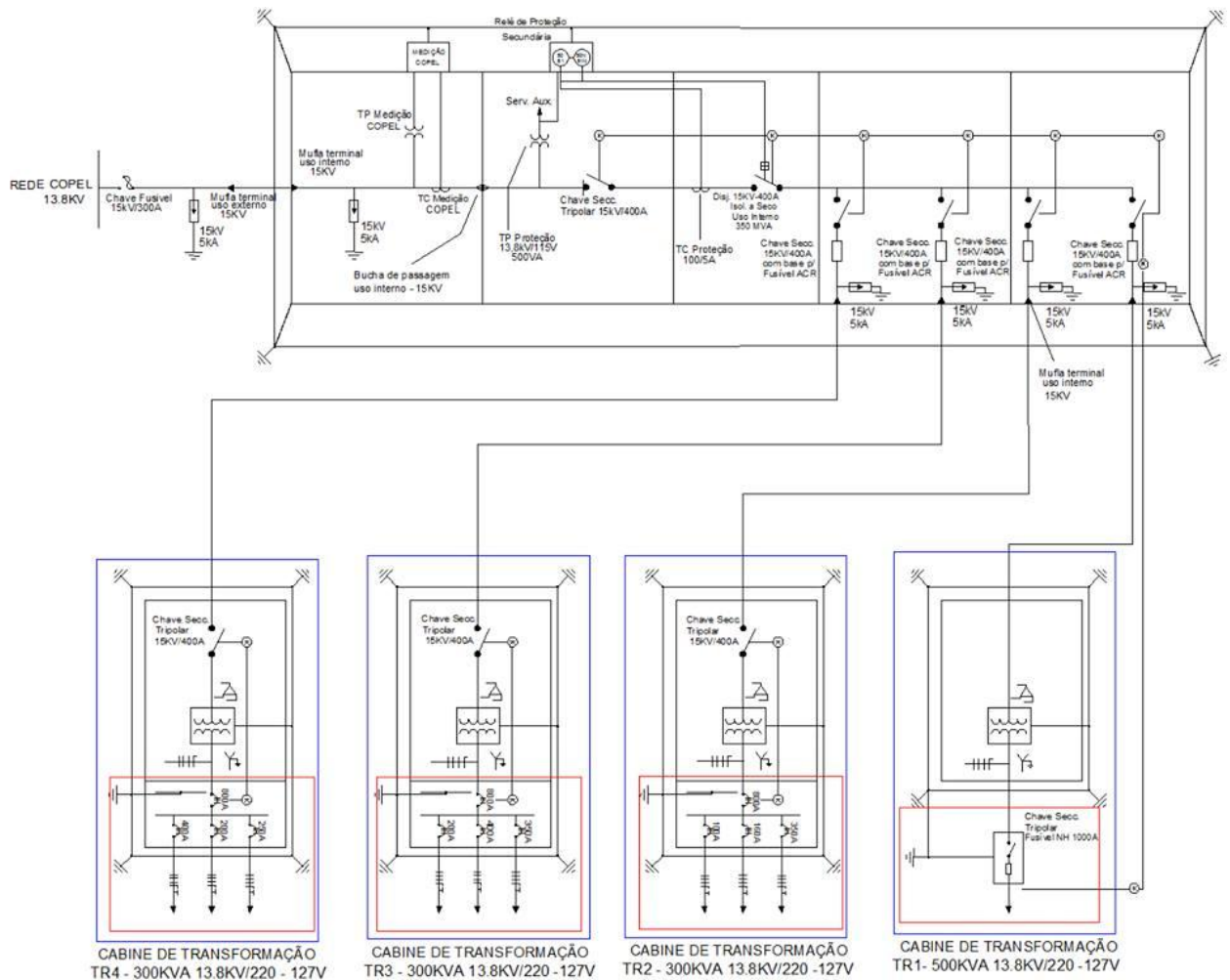


Figura 11 - Diagrama unifilar do sistema de distribuição da UTFPR
Fonte: Adaptado da documentação técnica UTFPR (2010)

3.1 AVALIAÇÃO DA FATURA DE ENERGIA

Mediante as multas que a Universidade tem recebido em relação ao excedente reativo surge a necessidade do acompanhamento do consumo de eletricidade com o objetivo de conhecer em detalhes as despesas, verificar o progresso ao longo do tempo e identificar ações que possam ser adotadas para obter um controle mais racional. Com esta finalidade foi realizado uma análise de dados de faturamento de energia, tais como demanda contrata, demanda medida, consumo na ponta e fora de ponta. Sendo assim possível calcular o fator de carga que avalia a eficiência da utilização de energia elétrica, uma vez que estes servem para auxiliar nas medidas a serem tomadas, contribuindo com informações sobre o desempenho da instalação (Nelson Kagan, 2010).

3.2 MEDIÇÕES COM ANALISADOR DE GRANDEZAS

Para realização do levantamento dos dados do circuito de distribuição foi utilizado um analisador de Qualidade de Energia Trifásica da marca Fluke, modelo 435 com número serial 4895015, pertencente ao Laboratório de Sistemas de Potência. Este equipamento possui a capacidade de realizar a captura instantânea e o armazenamento de grandezas elétricas com a finalidade de auxiliar na gestão de energia elétrica.

Para análise do sistema elétrico foram coletados valores como potência ativa, potência reativa, fator de potência, valores das tensões e de correntes no barramento de saída dos quatro transformadores de distribuição existentes. Os gráficos, traçados com os dados coletados durante a realização do levantamento para o estudo estão representados nos Apêndices.

A Figura 12 apresenta o analisador em operação, instalado no quadro geral de baixa tensão em uma das cabines de transformação de distribuição interna da UTFPR.

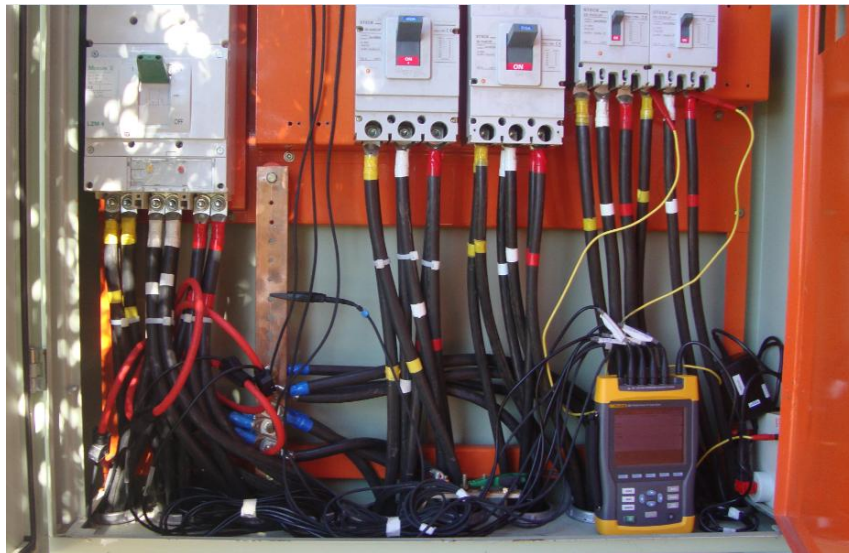


Figura 12 - Esquema de ligação do analisador de grandezas
Fonte: Autoria Própria

Este equipamento possui 4 entradas BNC para pinças de corrente e 5 entradas do tipo banana para tensão. Utilizou-se as pinças flexíveis de corrente CA de 3000 A (modelo i430flex-4pk) ao redor dos condutores da fase A, B, C e no barramento de neutro. As pinças são marcadas com uma seta, indicando a polaridade de sinal correta, e devem ser inseridas todas no mesmo sentido (da fonte

para carga), de forma que as grandezas coletas não sejam negativas. Em seguida, foram realizadas as conexões de tensão, começando com terra seguida das conexões de fase A, B, C e N sucessivamente. Para certificação dos resultados de medição, verificou se as conexões estavam fixadas corretamente através da exibição dos diagramas fasoriais no próprio aparelho, os quais devem aparecer em sequência e observados na direção horária.

Os dados foram visualizados com a utilização do programa Power Log através do cabo de interface óptica com conexão interface USB fornecido junto com o equipamento. Os dados são exibidos em um gráfico temporal, podendo ser selecionado os canais desejados e com visualização detalhadas.

3.3 IMAGENS TÉRMICAS

Com a finalidade de detectar falhas no sistema elétrico através da medição de temperatura dos componentes foi realizado a aplicação da termografia com o auxílio da câmera infravermelho termovisor InfraCam da marca Flir System, modelo SD, pertencente ao Laboratório de Máquinas Térmicas da Universidade

Para realização deste procedimento é recomendável que a instalação esteja em funcionamento com carga acima de 30% ou 50% da nominal, dependendo das recomendações abordadas. Para isto foi observado os dados coletados através do analisador, sendo possível levantar os períodos de maior demanda de cada transformador.

Outro aspecto importante está relacionado à escolha do turno para realização das medições, sendo indicado evitar medições diurnas. Uma vez que o termovisor capta o reflexo ocasionado pela radiação solar nos componentes metálicos. Esta radiação refletida é chamada de temperatura aparente, a qual pode ser determinada apontando o termovisor em uma folha de papel alumínio amassado com emissividade ajustada em zero, antes de cada coleta. O período de maior demanda da UTFPR, em geral, correspondeu à parte da tarde, entretanto foram escolhidos dias nublados e observado os componentes de diversos ângulos de modo a diferenciar o aquecimento da reflexão ocasionada por um corpo qualquer, atendendo assim às recomendações técnicas obtidas na literatura.

Também houve a preocupação com os ajustes da emissividade para cada material medido, conforme Quadro 4. Além disto, foram tomadas precauções a fim

de evitar dias ventosos com umidade relativa do ar superior a 90%. Nos dias escolhidos foi registrado umidade de 30% sem a presença de ventos com velocidades significativas.

Os dados foram visualizados e manipulados com a utilização do programa Flir QuickReport, fornecido pelo fabricante da câmera, para edição e análise das imagens através de conexão interface USB.

4 APLICAÇÃO

A seguir serão analisados em detalhes os dados das etapas do trabalho. A primeira parte apresenta uma visão geral do histórico de consumo e demanda medido pela concessionária. A segunda parte trata das grandezas coletadas no lado de baixa tensão com o analisador de grandeza e a terceira parte é dedicada às imagens térmicas realizado nas cabines de transformação.

4.1 HISTÓRICO DE CONSUMO E DEMANDA

A partir das faturas de energia elétrica disponibilizadas pela concessionária foram levantados os dados de consumo, demanda e fator de potência da Universidade durante o período aproximado de um ano, ver Tabela 4. A avaliação da fatura nesse período permite a obtenção de informações quando ao consumo e sazonalidade.

A Universidade se encontra na modalidade tarifária Horossazonal Verde, no Subgrupo A4, com tensão de fornecimento em média tensão de 13,8KV.

Tabela 4 - Histórico de Demanda e Consumo da UTFPR

MÊS	Consumo na ponta (kWh)	Consumo fora de ponta (kWh)	Demanda Contratada (kW)	Demanda Medida (kW)
08/2012	5.279,00	49.003,00	240,00	169,92
09/2012	5.410,00	48.420,00	240,00	139,68
10/2012	8.790,00	57.089,00	240,00	257,76
11/2012	11.131,00	68.418,00	240,00	244,80
12/2012	11.286,00	67.101,00	240,00	290,88
01/2013	7.320,00	51.748,00	240,00	302,40
02/2013	4.399,00	48.917,00	240,00	226,08
03/2013	9.888,00	62.772,00	240,00	288,00
04/2013	11.317,00	67.812,00	240,00	250,56
05/2013	10.805,00	67.073,00	280,00	244,80
06/2013	10.533,00	70.602,00	280,00	246,24
07/2013	13.492,00	77.914,00	280,00	257,76
08/2013	9.865,00	70.106,00	280,00	240,48

Fonte: Adaptado de COPEL (2013)

O gráfico da Figura 13 foi obtido a partir dos dados da Tabela 4, o qual mostra a demanda contratada e demanda medida. Observa-se um aumento na demanda medida com ultrapassagem nos meses de Outubro e Dezembro de 2012 e

Janeiro e Março de 2013, porém devido à mudança de demanda contratada que passou a ser de 280KW, não houve ultrapassagem nos últimos meses.

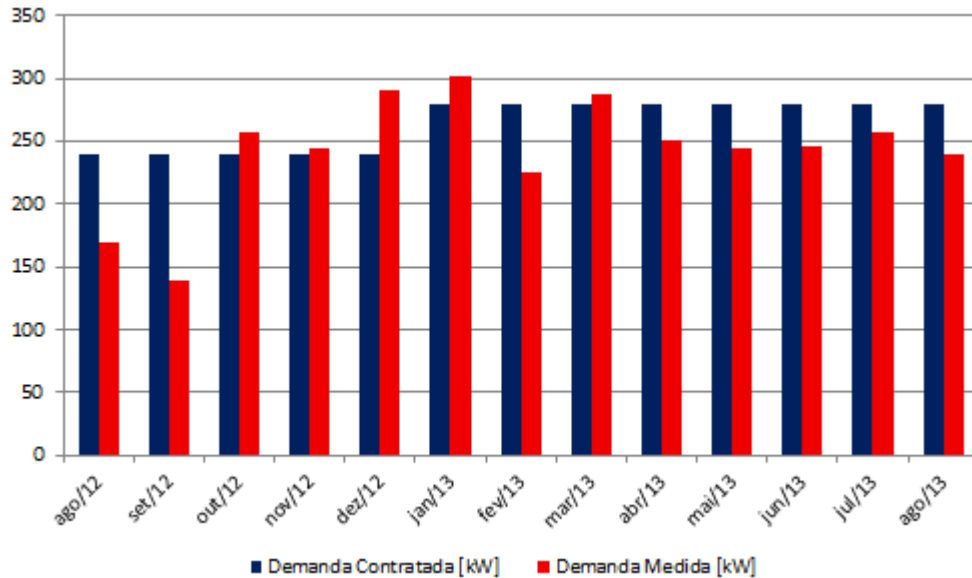


Figura 13 - Demanda contratada e medida
Fonte: Autoria própria (2013)

A partir da Tabela 4 é obtido o fator de carga da Universidade, que descreve como a energia elétrica vem sendo utilizada. O fator de carga reflete o regime de funcionamento de uma instalação, um elevado fator de carga indica uma distribuição adequada de cargas ao longo de um período, enquanto que um fator de carga baixo indica a concentração de consumo em determinado horário, acarretando uma alta demanda. Considerando a tarifa horo-sazonal, o fator de carga deve ser calculado para cada segmento, na ponta e fora de ponta, acordo com a Equação 9 e Equação 10:

$$FC = \frac{C_{TOTAL}[kWh]}{D_{MEDIDA}[kW] \times 66} \quad (9)$$

$$FC = \frac{C_{TOTAL}[kWh]}{D_{MEDIDA}[kW] \times 664} \quad (10)$$

Onde:

FC – Fator de carga

C_{TOTAL} – Consumo total

D_{MEDIDA} – Demanda medida

392 – N° de horas médias de uso da instalação em um mês

Por meio do fator de carga é obtido os valores relacionados na Tabela 5 que apresenta um comparativo entre os meses para valores na ponta e fora de ponta

Tabela 5 - Fator de carga

MÊS	FATOR DE CARGA	
	PONTA	FORA DE PONTA
08/2012	0,47	0,43
09/2012	0,59	0,52
10/2012	0,52	0,33
11/2012	0,69	0,42
12/2012	0,59	0,35
01/2013	0,37	0,26
02/2013	0,29	0,33
03/2013	0,52	0,33
04/2013	0,68	0,41
05/2013	0,67	0,41
06/2013	0,65	0,43
07/2013	0,79	0,46
08/2013	0,62	0,44

Fonte: Autoria própria

A Universidade apresenta uma média do fator de carga na ponta em torno de 0,57 e uma média do fator de carga fora de ponta de 0,39. Há uma diferença significativa entre os segmentos, porém ambos confirmam que o sistema está subredimensionado.

O consumo é apresentado no gráfico da Figura 14 contendo informações referentes ao consumo no horário de ponta, fora de ponta e total no período entre os meses de Agosto de 2012 a Agosto de 2013. O consumo no horário de ponta oscilou próximo a 10 KWh em 2013 com exceção dos períodos de férias.

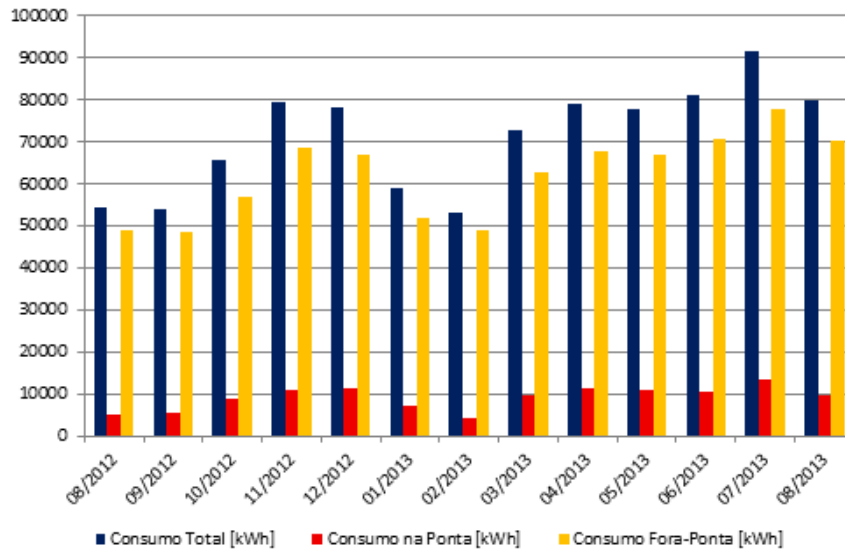


Figura 14 - Consumo na ponta, fora de ponta e total
Fonte – Autoria própria (2013)

O gráfico da Figura 15 mostra a contribuição do consumo ativo e reativo, demanda registrada e impostos na fatura de energia elétrica da UTFPR para o período de agosto de 2012 a agosto de 2013, segundo dados fornecidos pela Copel.

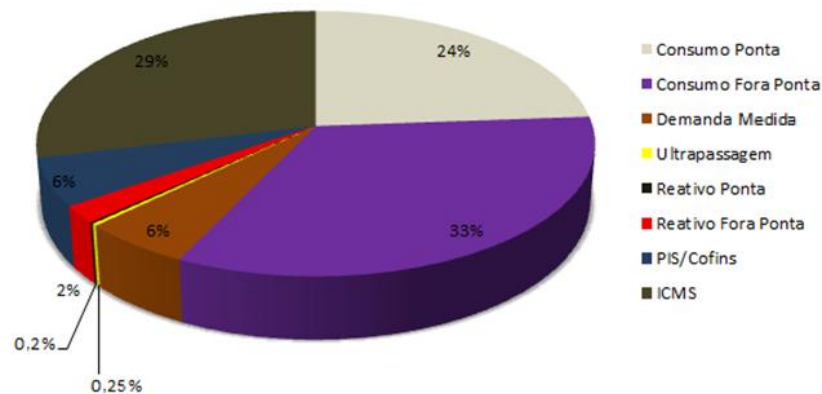


Figura 15 - Decomposição da fatura de energia em termos percentuais.
Fonte: Autoria própria (2013)

A Figura 16 apresenta o gráfico do fator de potência da Universidade no dia 05/04/2013 (sexta-feira) com finalidade de exemplificação do comportamento da potência ativa. O fator de potência permanece acima do valor da referência indutiva durante o período compreendido entre 7h45 e 22h45, ocorrendo uma redução fora deste intervalo, ou seja, durante a madrugada a solicitação da potência ativa é inferior.

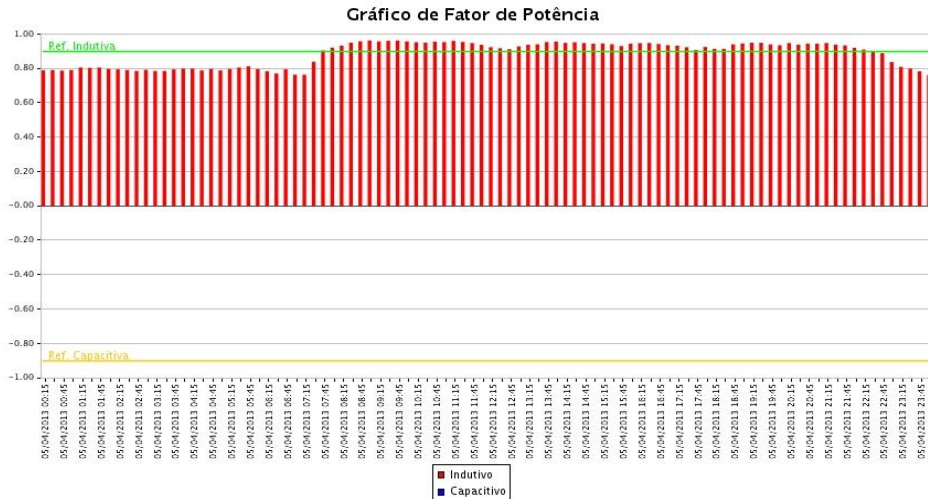


Figura 16 - Fator de potência - 05/04/2013 (sexta-feira)
 Fonte: Adaptado COPEL (2013)

Na Figura 17 é apresentado gráfico do fator de potência para um sábado (06/07/2013), nos quais ocorrem atividades acadêmicas na Universidade, porém com menor intensidade. No turno da manhã das 8h00 às 10h00 apresenta um fator na faixa do valor exigido, contudo a situação é agravada com a permanência do fator abaixo de 0,92 durante o restante do dia.

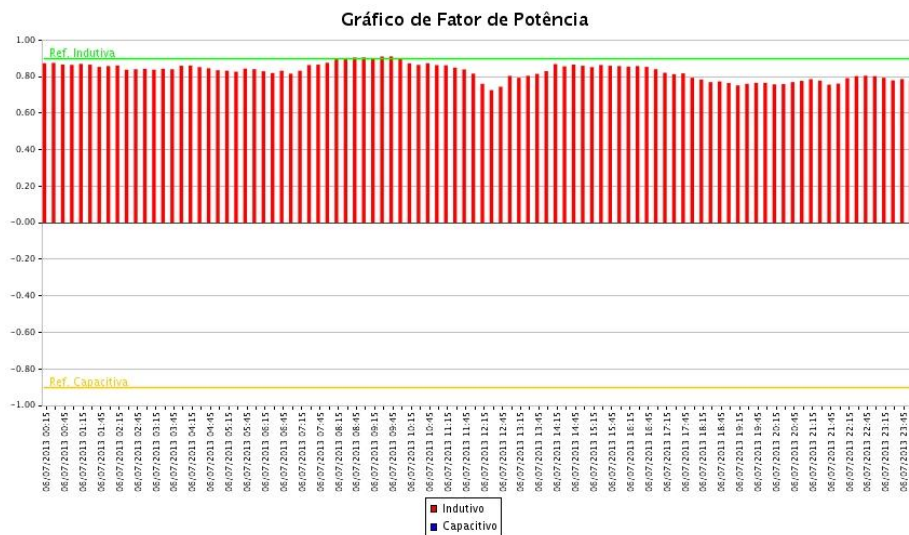


Figura 17 - Fator de potência - 06/07/2013 (sábado)
 Fonte: Adaptado COPEL (2013)

A Figura 18 referente ao domingo (07/07/2013) apresenta fator de potência, o qual se encontra na faixa de 0,7 a 0,8 ao longo do dia, indicando um baixo consumo de potência ativa.

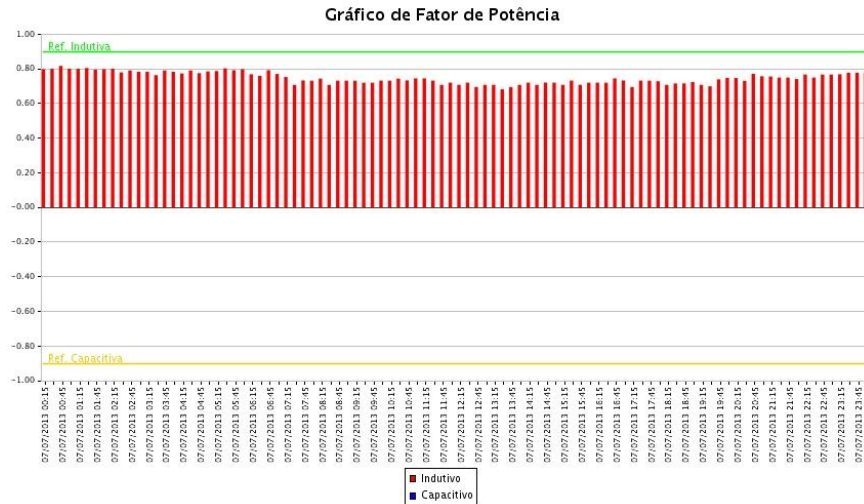


Figura 18 - Fator de potência da Universidade - 07/04/2013 (domingo)
Fonte: Adaptado COPEL (2013)

4.2 ANÁLISE DE CARGA DO SISTEMA ELÉTRICO

A seguir são apresentadas as análises das coletas de dados realizadas nos quadros de distribuição de todos os transformadores do circuito da Instituição. Para uma melhor compreensão do comportamento da carga será mostrado uma parte do gráfico correspondente a um dia típico de semana para cada transformador.

4.2.1 Transformador de Distribuição 1

Para realização do acompanhamento da curva de carga do transformador 1 (TR -1), foi instalado o analisador de grandeza, o qual permaneceu em um intervalo de uma semana, compreendido entre dia 03/04/2013 (quarta-feira, às 17h00) ao dia 10/04/2013 (terça-feira, até 15h00).

A cabine de transformação 1, 500KVA, encontra-se localizada próximo ao bloco H da Universidade. Este transformador suportava inicialmente toda a carga da instituição até a instalação da ampliação. Atualmente é responsável pela alimentação dos blocos administrativos, da parte mais antiga dos blocos L, M, N, lanchonete dos alunos e refeitório dos servidores, almoxarifado, além dos blocos de laboratórios H, I e J. Pelas medições realizadas o transformador apresentou um comportamento característico ao longo da semana com baixo consumo no sábado e

domingo. No Apêndice A e B consta o comportamento das grandezas elétricas obtidas para este período.

Os transformadores não indicaram diferenças significativas de potência aparente solicitada entre as fases e sim um equilíbrio entre os condutores. Para uma análise detalhada do ciclo de trabalho, encontra-se representada na Figura 19 uma mostra diária (valores instantâneos coletados a cada 30s segundos) das curvas da potência ativa, reativa e fator de potência correspondente ao dia 05/04/2013 (sexta – feira) durante o período de 24h.

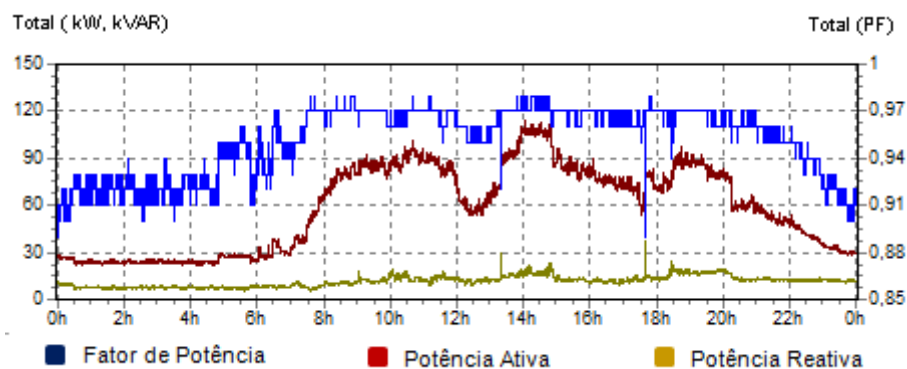


Figura 19 - Curva diária de potência (TR1) - 05/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

Na Figura 19 é apresentada a curva de potência reativa, a qual não contribui para a conversão de energia, mas é necessária para funcionamento do transformador. Ao analisar, observa-se que a curva mantém constante durante o período noturno na faixa de 8KVAR, isto ocorre devido ao fato do transformador não estar trabalhando com cargas indutivas significativas e as pequenas cargas indutivas serem constantes, sendo estas referente a iluminação externa da universidade, as quais possuem luminárias fluorescentes com reatores eletromagnéticos e lâmpadas de descargas com reatores diversos. Ao longo do dia ocorre um visível aumento no consumo reativo, porém dentro de limites aceitáveis por norma.

A curva de potência ativa responsável por realizar trabalho mantém um valor constante em torno de 30KW durante a noite. Isto ocorre devido ao horário de aulas da Universidade encerrar às 23h00, sendo as cargas dos ambientes administrativos e didáticos desligadas, as quais estão inseridas neste barramento. Permanecendo apenas a iluminação de ambientes externos em funcionamento e cargas menores de acionamento automático (bombas e compressor). Entretanto a curva sofre variações a partir das 6h00, chegando ao valor de pico de 90KW em torno 11h00, e um novo

valor de pico de 112 KW às 14h30 e novamente ao valor de pico de 90KW às 19h00. Durante o período diurno determinadas cargas entram em operação, sendo responsáveis pelo maior consumo. Estas cargas são estão ligadas aos ambientes administrativos (equipamentos de informática e ar condicionados) além de salas de aulas e laboratórios.

A curva do fator de potência no gráfico (Figura 19) é referente ao dia típico tomado como exemplo. Este fator, o qual indica a relação entre potência ativa e reativa, apresenta valores aceitáveis estabelecidos pela legislação vigente dentro do intervalo aproximado das 6h30 até às 22h30, permanecendo abaixo de 0,92 após este período. No entanto, excede o referencial indutivo apenas por uma hora, uma vez que após as 23h30 até as 6h30 é cobrado multa somente por reativo capacitivo excedente. Este transformador trabalha no período noturno em condições próximas à operação a vazio. É possível observar no Apêndice A que ao sábado, durante o período das 8h00 às 18h00, o fator de potência permanece acima do limite, porém fora deste intervalo o fator diminui para 0,9 aproximadamente. No domingo o valor do fator permanece oscilando muito próximo a 0,90 durante todo o dia.

A Figura 20 apresenta uma mostra diária do comportamento da tensão e corrente no secundário do transformador em uma das fases para o mesmo dia 05/04/2013 (sexta – feira) durante o período de 24h:

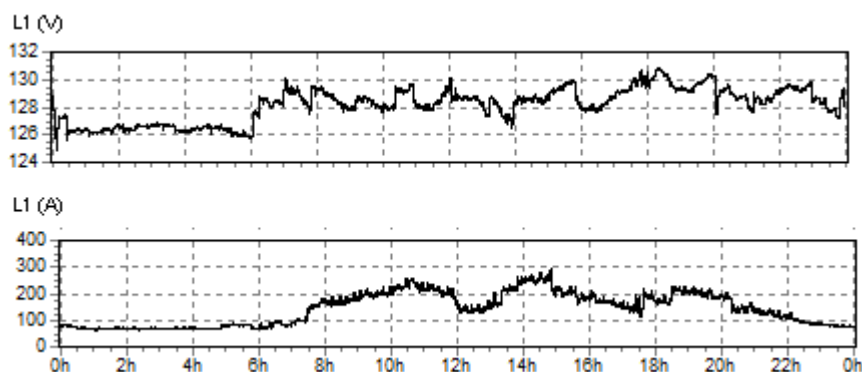


Figura 20 - Curva Diária de tensão e corrente (TR1)- 05/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

A tensão apresenta valores próximos a 127V, exibindo pequenas variações a partir das 7h30 quando surge o aumento de carga. Entretanto na corrente este comportamento é mais evidente, visto que as variações são mais significativas. O valor da corrente triplica para 240A quando passa a trabalhar durante o horário

comercial em relação ao restante do dia. Isto ocorre uma vez que o consumo de energia triplica, solicitando do transformador uma potência maior a ser fornecida.

A Figura 21 representa uma mostra diária da tensão e corrente no barramento de neutro para o mesmo dia 05/04/2013 (sexta – feira) durante o período de 24h. O barramento de neutro possui uma tensão com valor máximo de 80mV e um valor de corrente em torno de 140A. Logo este circuito apresenta características de circuito desequilibrado, dado que em circuitos equilibrados não apresentam circulação significativas de corrente pelo condutor de neutro, ver Apêndice B para maiores detalhes.

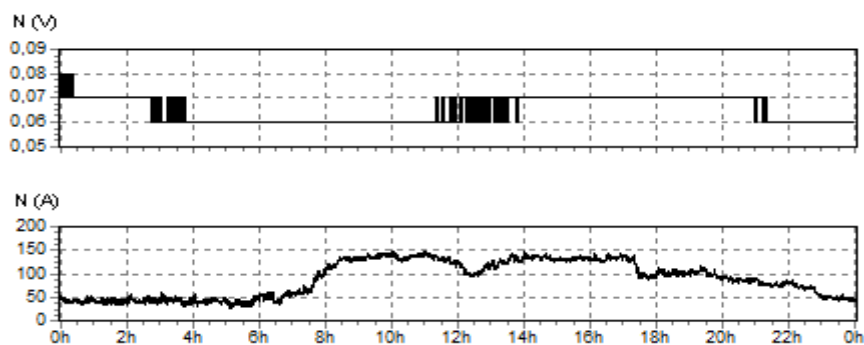


Figura 21 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro (TR1) - 05/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

4.2.2 Transformador de Distribuição 2

Para realização do acompanhamento da curva de carga do transformador 2 o analisador de grandeza permaneceu instalado durante uma semana, compreendido entre dia 27/03/2013 (quarta-feira, às 15h00) ao dia 03/03/2013 (quarta-feira, até 15h00).

A cabine de transformação 2, 300kVA, encontra-se entre o bloco J1 e N, em frente à rua interna da Universidade. Este transformador é responsável pela alimentação dos circuitos do bloco J1 e ampliações dos blocos L, M e N. O transformador apresentou dois tipos de comportamento ao longo da semana da coleta dos dados, devido ao dia 29/03/2013 (sexta-feira) ser um feriado. Entretanto, com exceção ao feriado e ao final de semana, o transformador apresentou um padrão nas curvas de potência, tensão e corrente.

Para uma análise detalhada do ciclo de trabalho, encontra-se representada na Figura 22 uma mostra típica diária das curvas da potência ativa, reativa e fator de potência correspondente ao dia 02/04/2013 (terça-feira) durante o período de 24h.

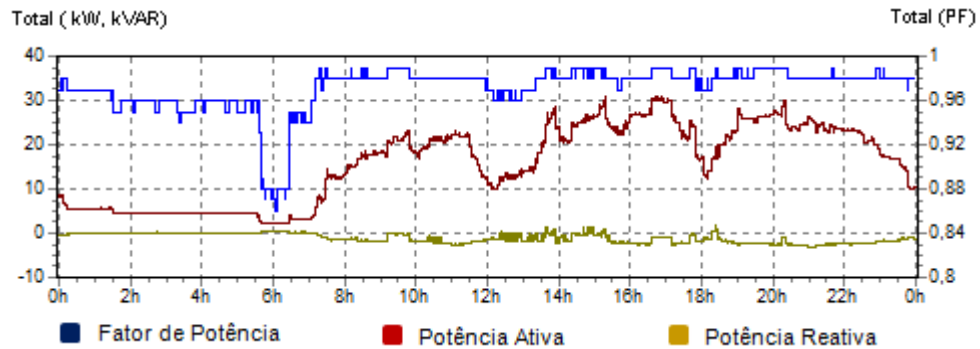


Figura 22 - Curva diária de potência (TR2)- 02/04/2013 (terça-feira)
Fonte: Autoria Própria

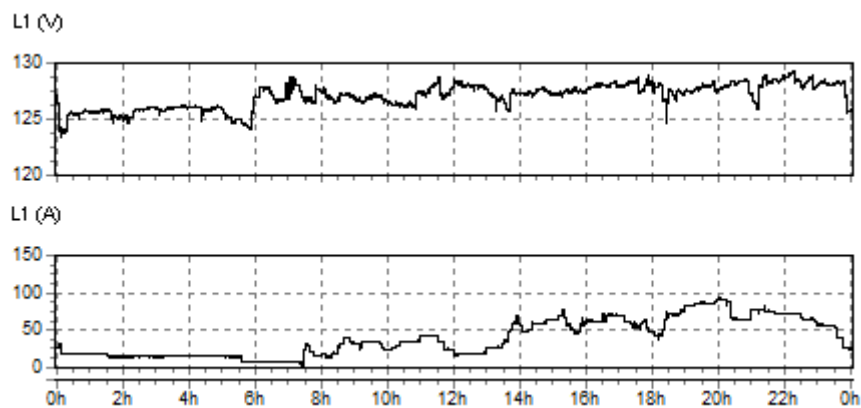
A potência reativa permaneceu com valor aproximadamente nulo durante o intervalo compreendido entre 23h30 até às 6h30, fora deste intervalo registrou um valor de reativo negativo em torno de 2,5KVAR, este comportamento pode ser notado em todos os dias úteis, ver Apêndice C. O valor reativo encontrado pode ser devido ao transformador 1 ser o responsável pela alimentação os blocos L, M, N e J1 nos quais foram instalados luminárias com reatores de alto fator de potência, que possuem sistemas com capacitores. Contudo o valor obtido de 500Var não é significativo em relação aos 300KVA que podem ser fornecidos pelo transformador 1 ao sistema.

A potência ativa alcança quatro vezes valores de pico de 30KW a partir das 13h30 até 20h00. Instante no qual a potência diminui gradativamente até chegar a um valor constante de 5 KW às 23h30, uma vez que a carga passa ser mínima, permanecendo apenas a iluminação dos blocos, a demanda ativa passa ser novamente solicitada apenas a partir das 7h00.

Este transformador trabalha com fator de potência dentro dos limites aceitáveis durante a noite, dado que de madrugada paga-se somente pelos reativos excedentes capacitivos. Durante parte do dia o fator também se encontra acima do valor mínimo exigido, exceto entre 5h30 e 6h30 no qual o transformador passa a operar com fator entre 0,86 a 0,88 aproximadamente, contribuindo para um acréscimo de multa na tarifa de energia da Universidade. Isto ocorre como consequência da interrupção do circuito de iluminação dos blocos, abaixando ainda

mais o consumo e deixando o transformador trabalhar praticamente a vazio. Outra observação relevante são os feriados e finais de semana, período no qual o fator permanece normalmente 63% do dia abaixo dos limites aceitáveis, Apêndice C, instante em que a iluminação da Universidade não se faz necessária, geralmente compreendida entre as 5h00 até as 19h00, não ocorrendo distinção no comportamento entre feriado, sábado e domingo.

A Figura 23 apresenta uma mostra diária do comportamento da tensão e corrente no secundário do transformador em uma das fases para o mesmo dia 02/04/2013 (terça-feira) durante o período de 24h, os quais estão dentro dos valores adequados.



**Figura 23 - Curva diária de tensão e corrente (TR2)– 02/04/2013 (terça-feira)
Fonte: Autoria Própria**

A Figura 24 representa uma mostra diária da tensão e corrente no barramento de neutro para o mesmo dia 02/04/2013 (terça-feira) durante o período de 24h. O valor de corrente encontra-se na faixa de 10A, apresentando uma baixa circulação de corrente pelo condutor neutro. Porém com as mudanças nas curvas de potência o valor de corrente passa a ser na faixa de 45A, aumentando assim a circulação.

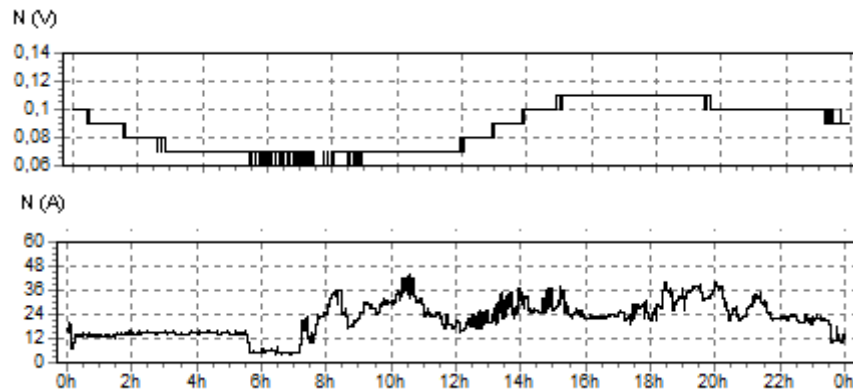


Figura 24 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro (TR2) - 02/04/2013 (terça-feira)
Fonte: Autoria Própria

4.2.3 Transformador de Distribuição 3

O acompanhamento de transformador 3 foi realizado no período de uma semana, compreendido do dia 17/04/2013 (quarta-feira, às 10h30) ao dia 24/04/2013 (quarta-feira, até 12h00).

A cabine de transformação 3, 300kVA, encontra-se localizada nos fundos do anfiteatro da Universidade. Este transformador é responsável pelos circuitos do anfiteatro, antiga biblioteca, restaurante universitário (antigo) e as novas instalações do novo restaurante universitário, os blocos P, S, O e o bloco da coordenação dos cursos de Contábeis e de Administração. O transformador apresenta um comportamento característico ao longo da semana, com baixo consumo no sábado e domingo, ver Apêndice E. Por ocasião dos levantamentos e medições o Restaurante Universitário ainda não se encontrava em operação.

Para uma análise do ciclo diário de trabalho a Figura 25 apresenta as curvas da potência ativa, reativa e fator de potência correspondente ao dia 19/04/2013 (sexta-feira) durante o período da de 24h:

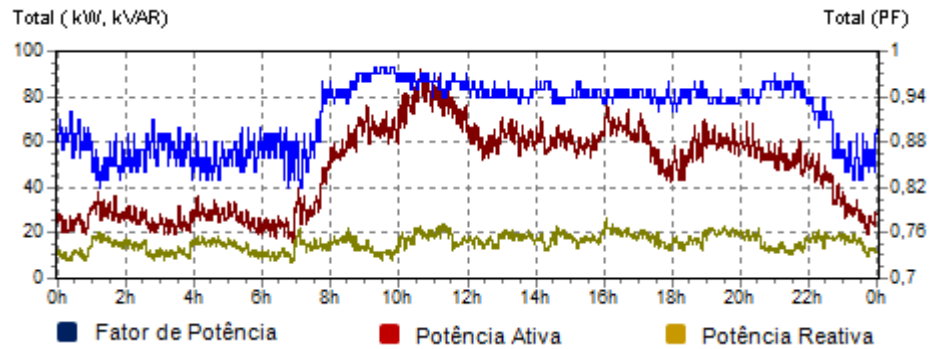


Figura 25 - Curva diária de potência (TR3) - 19/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

A potência reativa encontra-se na faixa de 20KVAr durante toda a semana. A potência ativa sofre um acréscimo a partir das 7h30, chegando ao valor de pico de 90KW durante o período das 10h00 até 12h00. Após este horário o consumo de energia ativa passa para um valor em torno de 60KW, sofrendo uma queda perto das 18h00 por uma hora e diminui gradativamente a partir das 22h00.

O fator de potência encontra-se na faixa de 0,82 a 0,88 no período entre as 22h00 a 7h00, ou seja, este transformador paga multa por excedente de reativo indutivo por duas horas.

A Figura 26 apresenta uma mostra diária do comportamento da tensão e corrente no secundário do transformador em uma das fases para o mesmo dia 19/04/2013 (sexta-feira) durante o período de 24h, os quais estão dentro dos valores esperados.

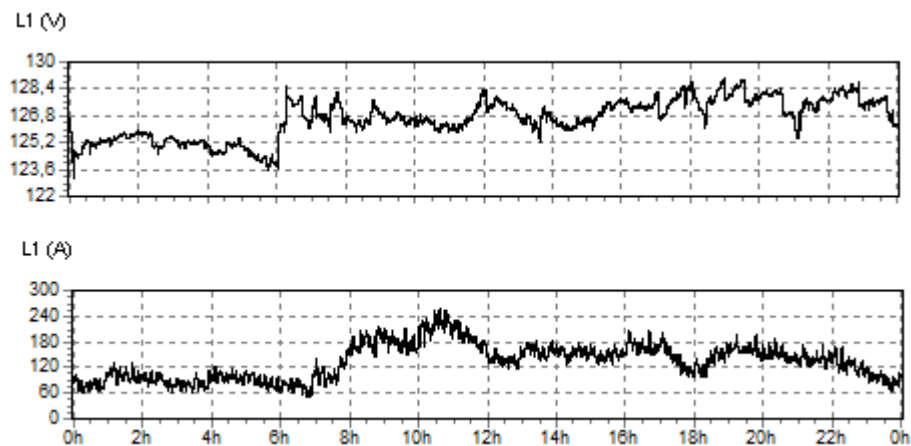


Figura 26 - Curva diária de tensão e corrente (TR3) - 19/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

A Figura 27 exibe uma mostra diária da tensão e corrente no barramento de neutro para o mesmo dia 19/04/2013 (sexta-feira) durante o período de 24h. O barramento de neutro possui uma tensão com valor máximo de 100 mV e um valor de corrente em torno de 60A com pico de aproximadamente 85A.

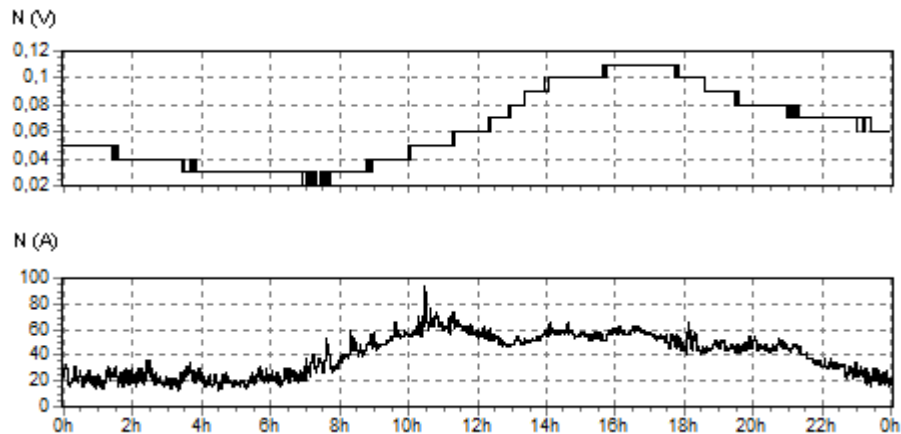


Figura 27 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro do (TR3) - 19/04/2013 (sexta-feira)

Fonte: Autoria Própria

4.2 4 Transformador de Distribuição 4

A coleta de dados no de transformador 4 foi realizado no período de uma semana, compreendido do dia 10/04/2013 (quarta-feira, às 17h00) ao dia 15/04/2013 (quarta-feira, até 10h00).

A cabine de transformação 4, 300kVA, encontra-se localizada próximo à entrada do bloco V e da nova biblioteca da Universidade. Este transformador é responsável pelos circuitos alimentadores do bloco V e da biblioteca nova (a qual até o momento das medições não havia entrado em funcionamento em sua totalidade). O transformador apresenta um comportamento característico ao longo da semana, apresentando baixo consumo no final de semana.

A Figura 28 apresenta as curvas da potência ativa, reativa e fator de potência referente ao dia 12/04/2013 (sexta-feira) durante o período de 24h.

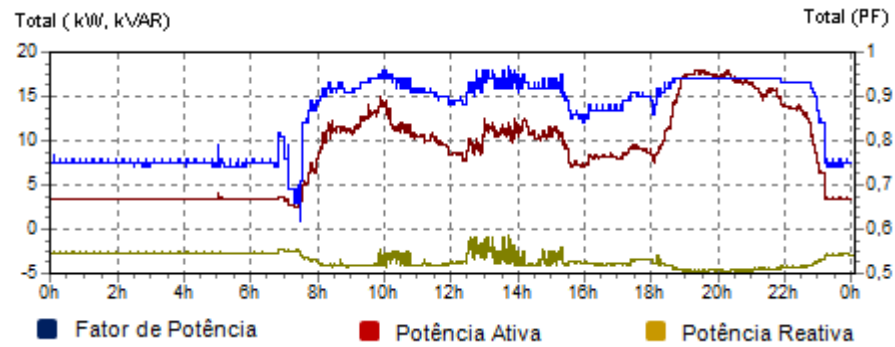


Figura 28 - Curva diária de potência do (TR4) - 12/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

A potência reativa permanece aproximadamente constante próximo de 2KVAR negativo durante o dia e 5KVAR negativo a noite durante toda da semana. A potência ativa passa ser significativamente consumida a partir das 8h00 até as 22h30. O maior valor solicitado foi 18KW e encontra-se no turno da noite próximo entre 19h00 e 21h00. O período de baixo consumo está compreendido no horário da 23h30 e 7h30.

A Figura 29 mostra o valor coletado de tensão e corrente em uma das fases para o mesmo dia 12/04/2013 (sexta-feira) durante o período de 24h, dentro dos valores aceitáveis.



Figura 29 - Curva diária de tensão e corrente (TR4) - 12/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

A Figura 30 exibe o valor de tensão e corrente no barramento de neutro para o mesmo dia 12/04/2013 (sexta-feira) durante o período de 24h. O valor máximo de corrente encontra-se em 35A, apresentando uma circulação de corrente significativa pelo condutor de neutro.

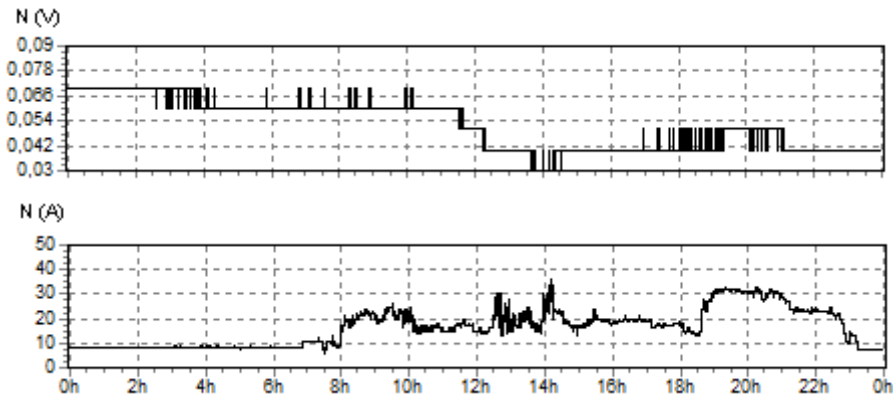


Figura 30 - Curva diária de tensão e corrente do barramento de neutro (TR4) - 12/04/2013 (sexta-feira)
Fonte: Autoria Própria

4.3 EMPREGO DE TÉCNICA TERMOGRÁFICA

Na realização de uma análise termográfica é preciso conhecimento prévio do sistema a ser analisado com relação as suas funções e regime de operação de modo a melhor compreender os resultados termográficos, ponderando também as condições ambientais nas quais se realizou a análise. Além do conhecimento referente ao termovisor e suas limitações para o tipo de inspeção em questão.

As verificações realizadas nas instalações da UTFPR-Campus Pato Branco, foram realizadas com base nos dados colhidos com o analisador de qualidade de energia, sendo nos momentos de maior demanda do sistema para cada transformador, que ocorreram aproximadamente por volta das 15h00. Tal horário não é o mais indicado como descrito no item 2.6.1. Também foram tomadas as devidas precauções quanto ao ângulo de inspeção e a claridade do dia, sendo as medições executadas em sua maioria em dias nublados e sem ventos com velocidades significativas. A temperatura refletida considerada nas medições foi obtida conforme teste descrito no item 2.6.2, com a utilização de papel alumínio. Sendo os valores de emissividade considerados os descritos na Tabela 3.

Para a aplicabilidade do método descrito no item 2.6.3, segundo as fontes citadas o valor mínimo de carga no sistema deveria ser de 50%. Portanto para coleta dos dados não foi possível seguir tal exigência do método descrito. O fato do sistema elétrico se encontrar sobredimensionado na atualidade poderia vir a prejudicar a detecção de anomalias.

4.3.1 Cabine de Transformação 1

Na Figura 31 apresenta uma visão interna geral do quadro de conexão dos cabos de BT provenientes do transformador 1, adentrando à casa de força. Com o intuito de melhor entendimento dos termogramas, esta imagem foi utilizada como referência para localização dos pontos de averiguações no seu interior.



Figura 31 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - visão interna
Fonte: Autoria própria.

Na sequência são apresentados os termogramas referentes às conexões deste quadro. As imagens foram retiradas entre 15h00 e 16h00 nos dias 24/05/2013 e 14/06/2013, horário de maior demanda, segundo os dados obtidos por meio do analisador de qualidade de energia. A umidade relativa do ar, segundo dados lidos a partir do programa do termovisor era de 30%.

Na Figura 32, a temperatura aparente refletida era de 23°C, teste obtido através da utilização do papel alumínio, conforme descrito no item 2.6.2, a temperatura ambiente medida, por meio de um termômetro, era de 18°C, e emissividade igual a 0,93, referente à borracha. Com os horários de demanda máxima conhecido, valores de temperatura aparente refletida, temperatura ambiente e emissividade, os valores obtidos de temperatura nos condutores das três fases e no neutro foram de 20°C. Considerando os dados de MTA (máxima temperatura admissível) de condutores encapados de 70°C, não se verifica anomalia aparente nos condutores.



Figura 32 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - cabos
Fonte: Autoria própria

A Figura 33 apresenta os termogramas referentes aos barramentos e conexões de cobre, o valor de emissividade utilizado foi igual a 0,65 referente ao cobre com temperatura aparente refletida de 23°C. O maior valor obtido nas conexões no (a) barramento da fase A foi de 20,4°C. No (b) barramento da fase B a maior temperatura obtida (para as conexões) foi de 25,1°C. Já no (c) barramento da fase C segundo as imagens obtidas a temperatura variou de 21°C a 23,5°C no ponto de conexão mais aquecido. O ultimo termograma (d) diz respeito ao barramento de neutro e o valor medido de temperatura foi de 21°C. Tais valores se comparados com os valores de MTA para barramentos e conexões do quadro 4, o qual é de 90°C, não aparentam anomalia.

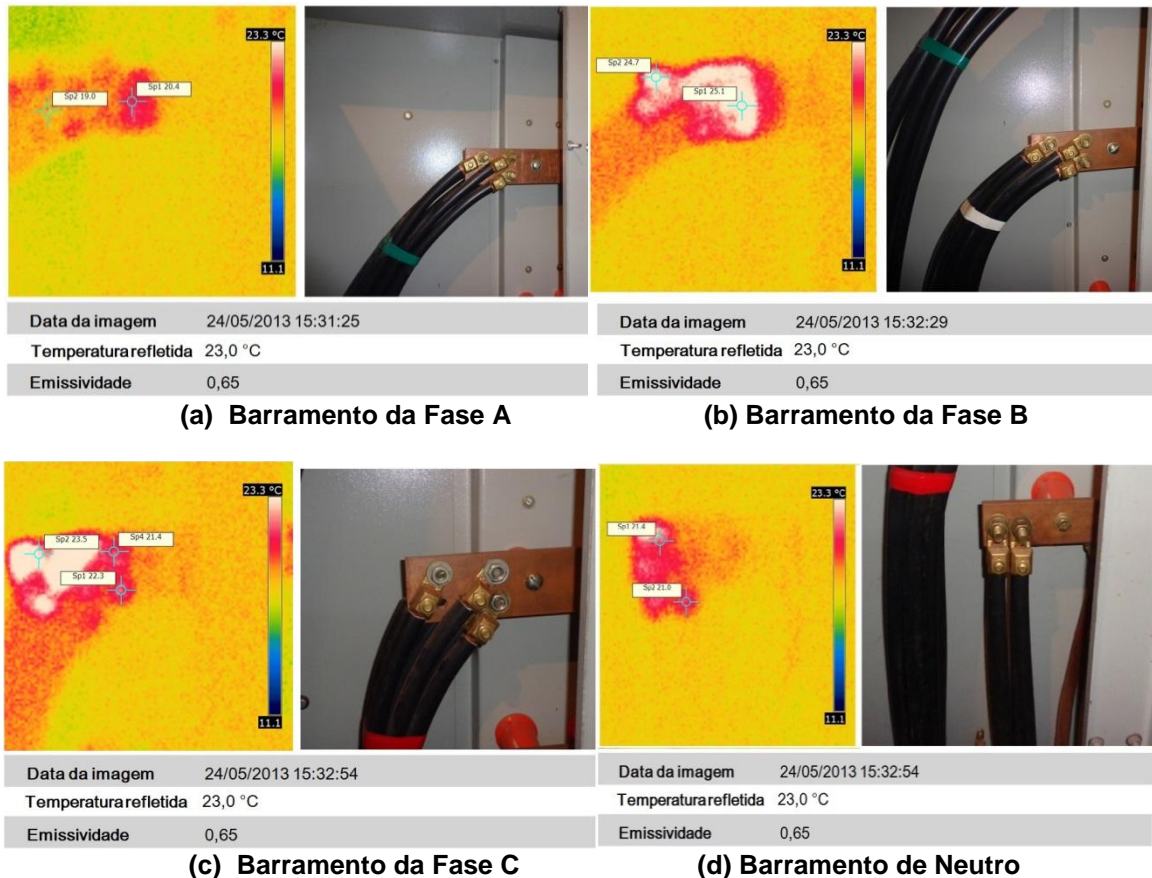


Figura 33 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - conexões
Fonte: Autoria própria.

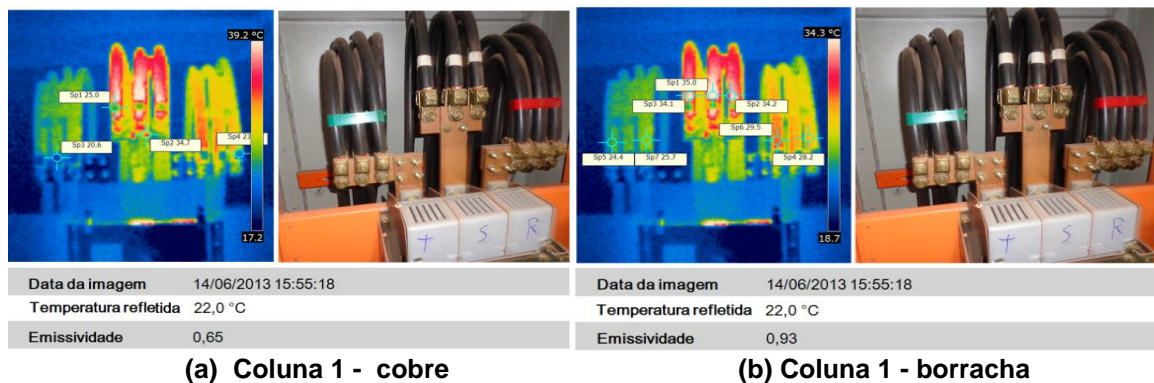
Ainda foi realizada medição no barramento de terra do quadro de conexões, ver Figura 34, obtendo o valor de temperatura de 20,6°C para emissividade de 0,65.



Figura 34 - Quadro de conexão da entrada de BT (TR 1) - terra
Fonte: Autoria própria.

As imagens da Figura 35 referem-se às conexões dos cabos provenientes do quadro de conexões aos terminais da chave seccionadora de proteção do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT). A temperatura ambiente e a refletida era de 22°C e a umidade relativa de 30% e a temperatura ambiente de 17°C.

O termograma (a) coluna 1 do QGBT- cobre refere-se às conexões da primeira coluna do quadro Geral BT com a emissividade de 0,65 (cobre). Os valores de conexões obtidos podem ser observados nas imagens e variam consideravelmente um em relação ao outro indicando possivelmente que as conexões com maior temperatura estejam com problemas de contato. Sendo os valores obtidos maiores para a fase B (conjunto de cabos localizado ao meio) caracterizando um desequilíbrio de fase devido ao fato do aquecimento ser contínuo ao longo dos cabos e demais equipamentos. No termograma (b) coluna 1 - borracha a emissividade é 0,93 (borracha), os valores dos condutores B apresentam temperatura cerca de 35°C enquanto que na fase C próximos de 25°C e para os condutores da fase A os valores obtidos foram de 28°C a 29,5°C. Segundo os valores considerados de MTA para condutores, o qual é 70°C, os valores obtidos se encontram dentro dos limites aceitáveis, assim a diferença de temperatura entre as fases se deve a desbalanceamentos de cargas.



(a) Coluna 1 - cobre

(b) Coluna 1 - borracha

Figura 35 - Coluna 1 do quadro geral de BT (TR 1) – condutores e conexões na chave seccionadora

Fonte: Autoria própria.

A Figura 36 corresponde aos fusíveis instalados junto à chave seccionadora de entrada referente ainda a primeira coluna do quadro BT, nos quais é possível notar a diferença de carregamento entre as fases. Os valores obtidos no termograma (a) fusível - cerâmica correspondem à emissividade de 0,92 (cerâmica), o qual mostra os valores de temperatura dos corpos fusíveis de 26,3°C, 30°C e 29,5°C. Sendo apresentado um valor significativo nas partes das conexões de entrada dos fusíveis de 28,5°C, 35,6°C e 34,7°C respectivamente para emissividade 0,65 (cobre), ver (b) fusível – cobre. Tais valores não caracterizam

sobreaquecimento segundo dados do Quadro 4, onde a MTA para corpos fusíveis é considerada de 100°C.

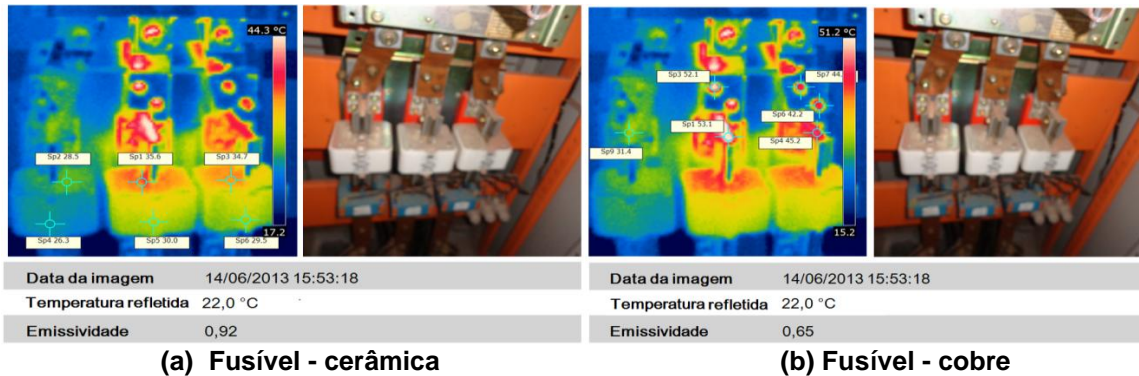


Figura 36 - Coluna 1 do quadro geral de BT (TR 1) – fusíveis de proteção geral
Fonte: Autoria própria.

A Figura 37 apresenta a análise de cabos e conexões de saída da primeira coluna para alimentação para o restante do barramento geral do quadro de BT. Os valores obtidos para emissividade de 0,65 (conexões em cobre) foram de cerca de 18°C a 19,5°C, enquanto que para uma emissividade de 0,93 (borracha) nos cabos os valores obtidos foram de aproximadamente 19°C. Considerando o MTA para condutores e conexões mediante parafusos como 70°C para ambos, não se verificou sobreaquecimento aparente.

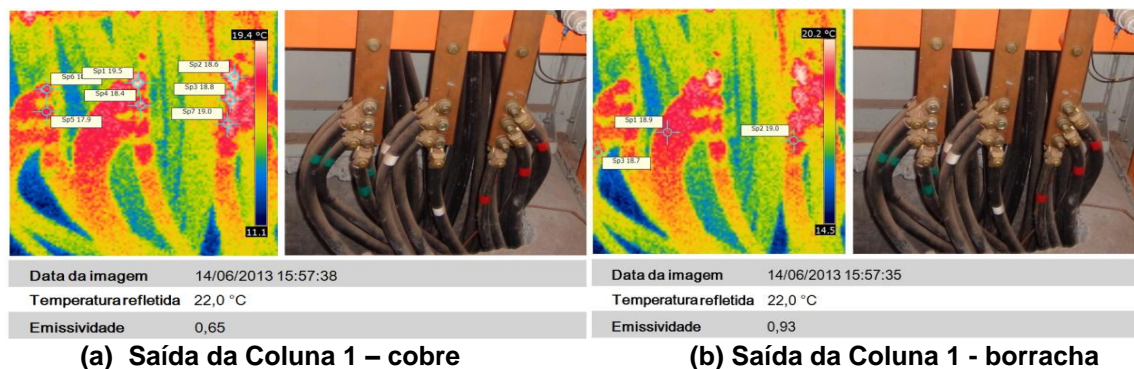


Figura 37 - Coluna 1 do quadro geral de BT (TR 1) - conexões dos cabos de interligação
Fonte: Autoria própria.

A Figura 38 corresponde aos fusíveis da segunda coluna do QGBT, onde a temperatura aparente refletida medida era de 18°C. No termograma (a) fusíveis – superior estão apresentados os quatro grupos fusíveis da parte superior da coluna, enquanto que nos termogramas (b) fusíveis – Inferior esquerda e (c) fusíveis – Inferior direita estão localizados os grupos de fusíveis na parte inferiores da coluna

no lado esquerdo e no lado direito. Os valores obtidos para uma emissividade de 0,92 (cerâmica) estão entre 18°C e 20°C em sua maioria, com exceção dos grupos de fusíveis localizados em (b) fusíveis – inferior esquerdo, os quais apresentaram o temperatura de 22,6°C. Nenhum desses valores ultrapassarem a MTA de corpos fusíveis.

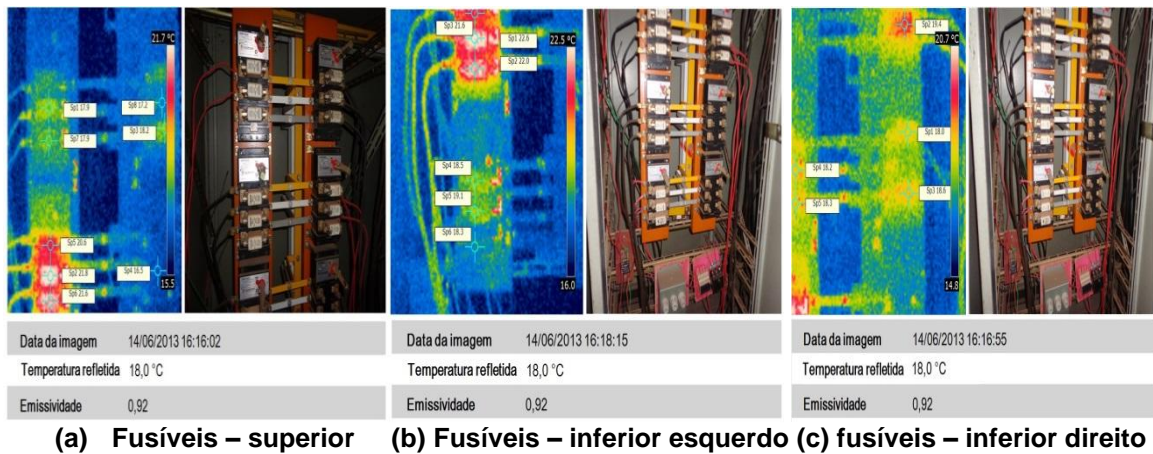


Figura 38 - Coluna 2 do quadro BT (TR 1) - fusíveis
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 39 são apresentadas as imagens termográficas para os barramentos, disjuntor e cabos da terceira coluna do QGBT. Com emissividade de 0,95 para barramentos cobertos por tinta e 0,93 para o corpo do disjuntor e cabos (plástico e borracha). As temperaturas obtidas, conforme pode ser vistas, estão entre 17°C a 19°C para os barramentos, enquanto que para os condutores as temperaturas variam entre as fases de 17°C a 18°C, já para o corpo do disjuntor o valor é de no máximo 17,7°C. Sendo os valores de MTA considerados de 90°C (barramentos), 70°C (cabos) e 100°C (corpo disjuntor).

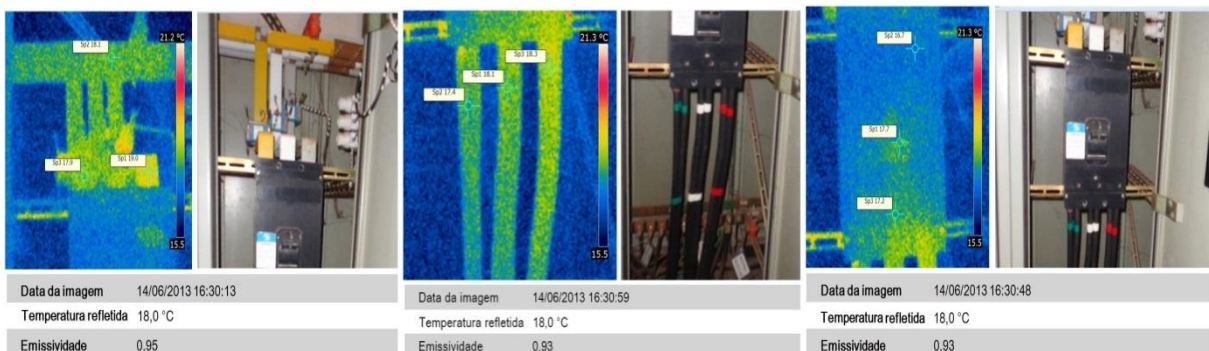


Figura 39 - Coluna 3 do quadro BT (TR 1) - disjuntor de interligação
Fonte: Autoria própria.

A Figura 40 corresponde a análise termográfica dos barramentos, disjuntor e cabos da quarta coluna do QGBT. Para emissividade de 0,95 (barramentos cobertos por tinta), 0,93 (corpo do disjuntor) e cabos (plástico e borracha). As temperaturas obtidas são de aproximadamente 19°C para os barramentos, entre 18,4°C a 18,7°C para os condutores e de 18,9°C a 26,2°C no ponto mais quente do disjuntor, apesar de tais valores não ultrapassarem os valores de MTA para disjuntores de 100 °C.

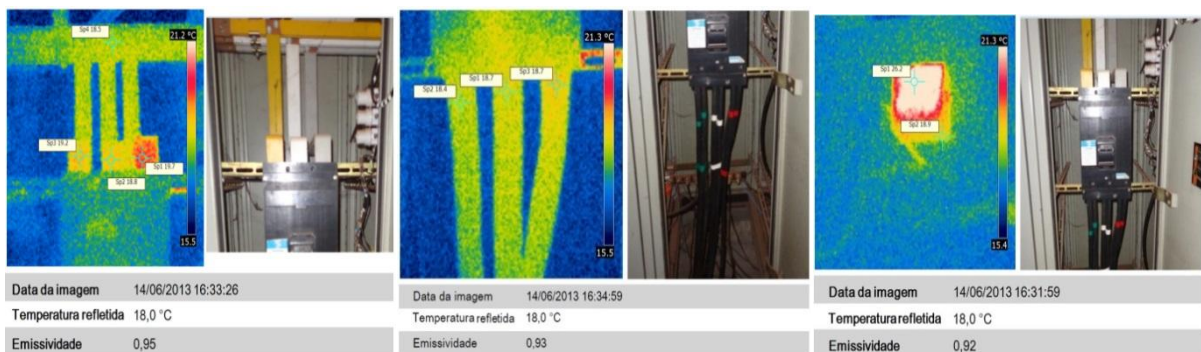
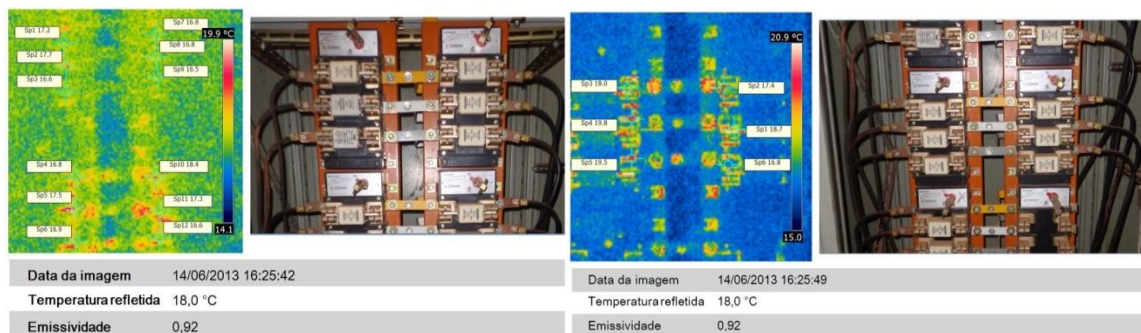


Figura 40 - Coluna 4 do quadro BT (TR 1) - disjuntor de interligação 4
Fonte: Autoria própria.

A análise termográfica da quinta coluna do QGBT, Figura 41, mostra grupos de fusíveis com uma temperatura entre 16°C e 18°C em sua maioria, no último termograma (d) fusíveis – inferior, um grupo de fusíveis apresenta um valor maior de aquecimento com temperatura de 20,6°C, o valor de emissividade utilizado foi de 0,92 e a temperatura refletida de 18°C, porém este valor não se difere significativamente dos valores encontrados nos demais fusíveis.



(a) Fusíveis – superior

(b) Fusíveis – parte superior (meio)

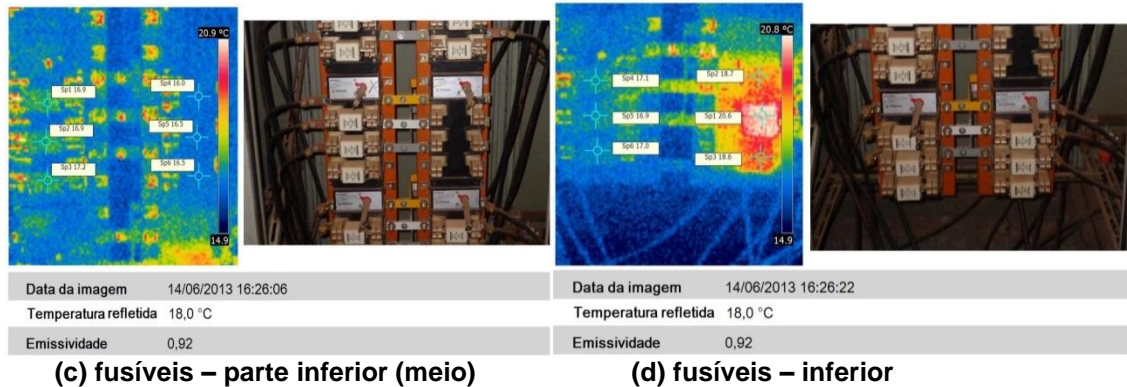


Figura 41 - Coluna 5 do quadro BT (TR 1)
Fonte: Autoria própria.

A Figura 42 é referente à sexta coluna do QGBT, as temperaturas dos fusíveis obtidos variam entre 16°C e 18°C em sua maioria, com exceção do último grupo de fusíveis que apresentam temperaturas entre 21°C e 23°C.

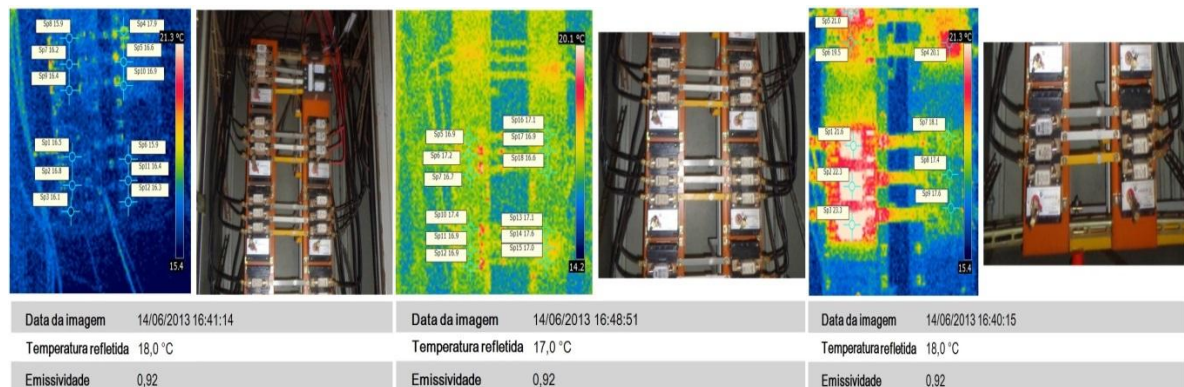


Figura 42 - Coluna 6 do quadro BT (TR 1)
Fonte: Autoria própria.

Após as verificações do quadro geral BT, foram coletadas imagens térmicas referentes ao transformador 1 entre 15h00 e 16h00 nos dias 27/05/2013 e 05/06/2013, ver Figura 43, onde a umidade relativa do ar era de 30% com temperatura aparente refletida de 15°C e temperatura ambiente de 15°C, coincidindo devido ao tempo nublado. Os valores obtidos foram de aproximadamente 34°C, para um valor de emissividade de 0,93 nos condutores. Tais valores não representam aparentemente sobreaquecimento segundo o MTA para condutores de 70°C.

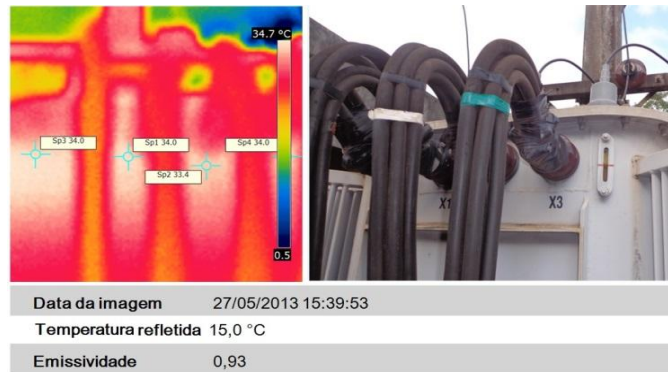


Figura 43 - Condutores de saída (TR 1)
Fonte: Autoria própria

A Figura 44 mostra a análise termográfica das buchas do transformador 1, o valor de emissividade considerado foi o da cerâmica de 0,92 e o valor de temperatura obtido 33,8°C. Considerando a MTA para conexão em transformadores a óleo de 90°C o valor obtido é inferior ao máximo admissível.



Figura 44 - Bucha (TR 1)
Fonte: Autoria própria.

Foram realizadas imagens do tanque do transformador conforme Figura 45. Os valores encontrados de temperatura para um valor de emissividade de 0,56 (chapa de aço) foram de cerca de 46°C, 47°C sendo o ponto mais aquecido de 49,5°C. A MTA para o ponto mais aquecido de um transformador a óleo segundo a Quadro 4 é de 80°C, de modo que o valor encontrado não representa um sobreaquecimento segundo os critérios adotados.

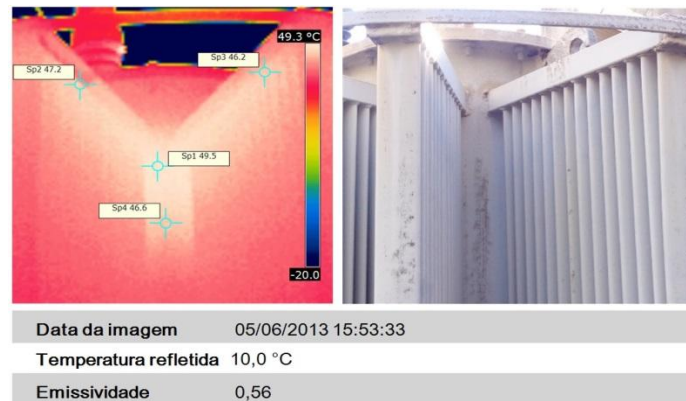


Figura 45 - Tanque (TR 1)
Fonte: Autoria própria

4.3.2 Cabine de transformação 2

As figuras abaixo se referem aos barramentos do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do transformador 2, as imagens foram retiradas entre 15h00 e 16h00 do dia 03/06/2013. A umidade relativa do ar segundo dados do termovisor era de 30%. Na Figura 46 é apresentada uma imagem geral do quadro para melhor localização dos equipamentos nas figuras seguintes.

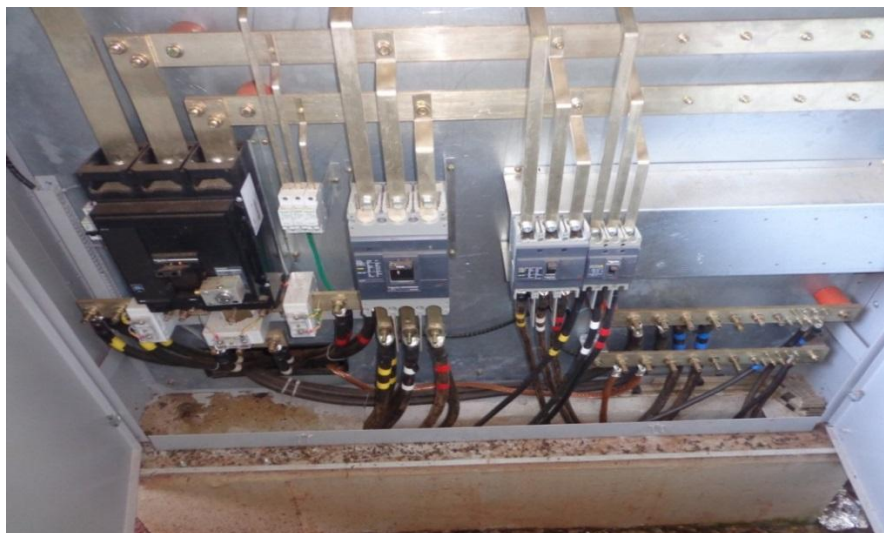


Figura 46 - Quadro geral de BT (TR 2) - visão interna
Fonte: Autoria própria.

Conforme as imagens apresentadas na Figura 47 é possíveis visualizar um aquecimento médio de 30°C nos barramentos para uma temperatura aparente refletida de 22°C coincidente com o ambiente. Ao compararmos com os valores obtidos com a MTA do Quadro 4 para conexões e barramentos de baixa tensão, observa-se que esses valores encontram inferiores aos 90°C máximo.

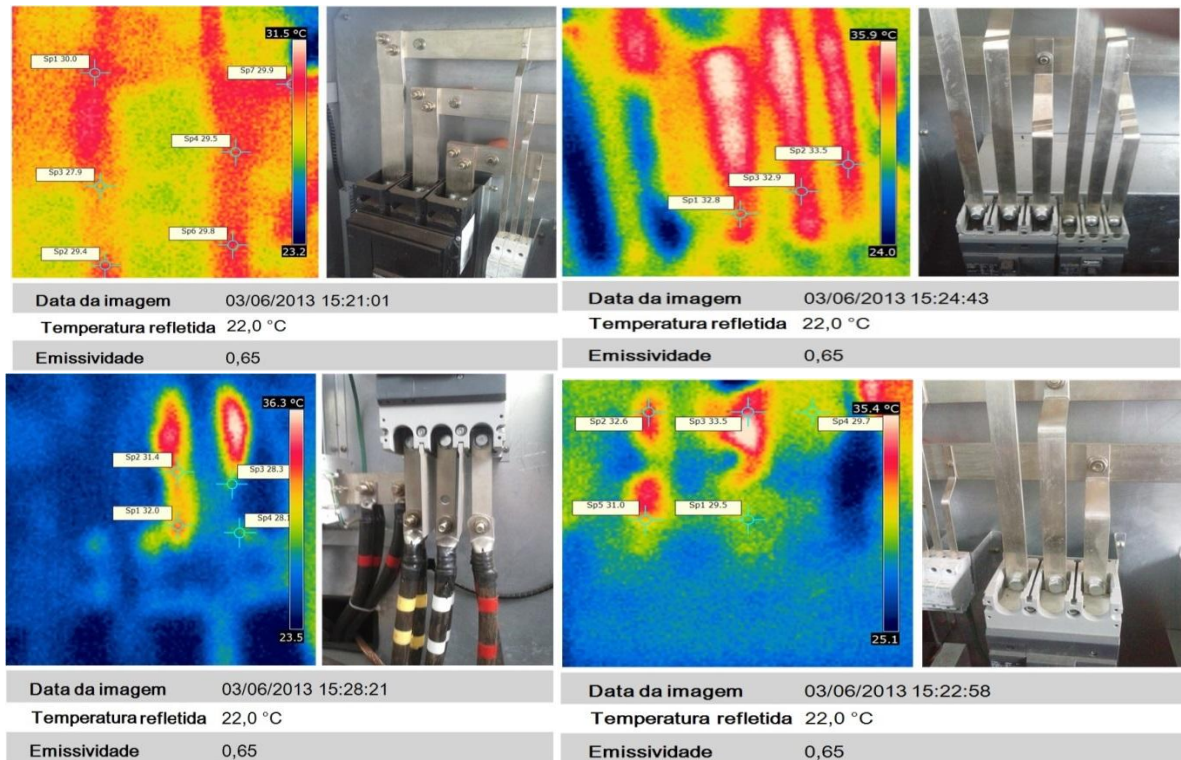
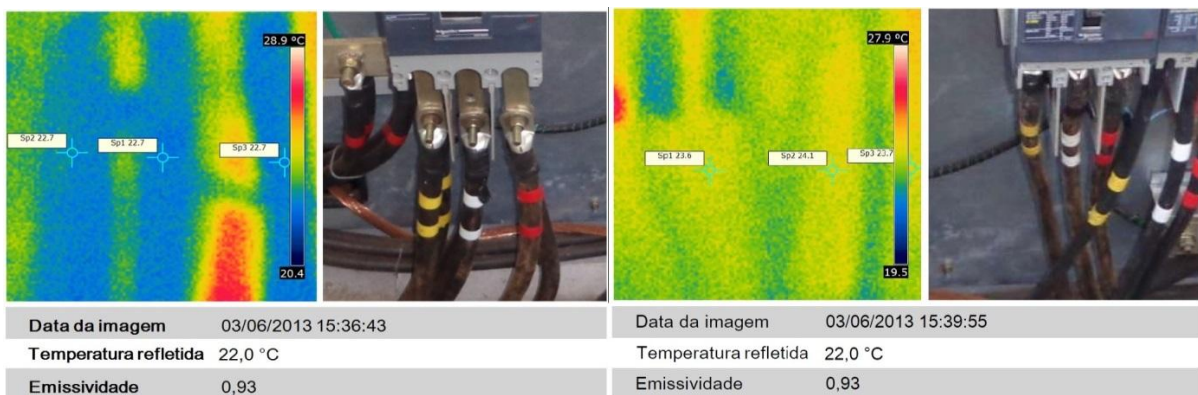


Figura 47- Quadro geral de BT (TR 2) - barramentos
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 48 os condutores do lado de BT provenientes do transformador 2 e interligações apresentaram temperatura média em torno de 23°C para um valor de emissividade favorável de 0,93 e temperatura refletida de 22°C (considerada a mesma do ambiente), o MTA para condutores encapados é de 70°C, ou seja os valores de temperaturas obtidos são inferiores ao MTA.



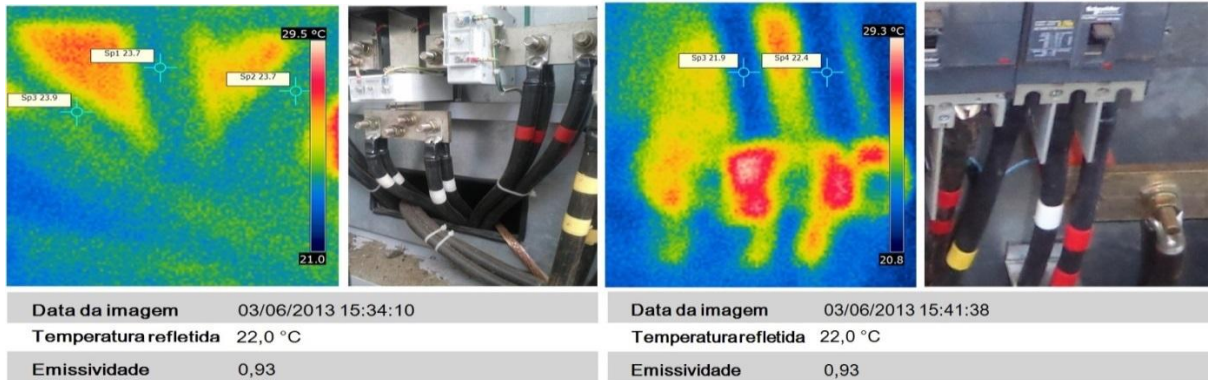


Figura 48 - Quadro geral de BT (TR 2) - condutores
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 49 apresenta o neutro e terra respectivamente, apresentando temperatura no neutro em torno de 25°C ao longo do barramento e 26°C nas conexões, para o terra temperatura é de 23°C ao longo do barramento com aproximadamente 24°C nas conexões. Considerando como valor de temperatura MTA, os valores tidos para conexões e barramentos de baixa tensão são 90°C, logo estes valores obtidos são inferiores aos máximos admitidos. Tal situação ocorre devido ao fato de o transformador operando com demanda bem inferior à nominal.

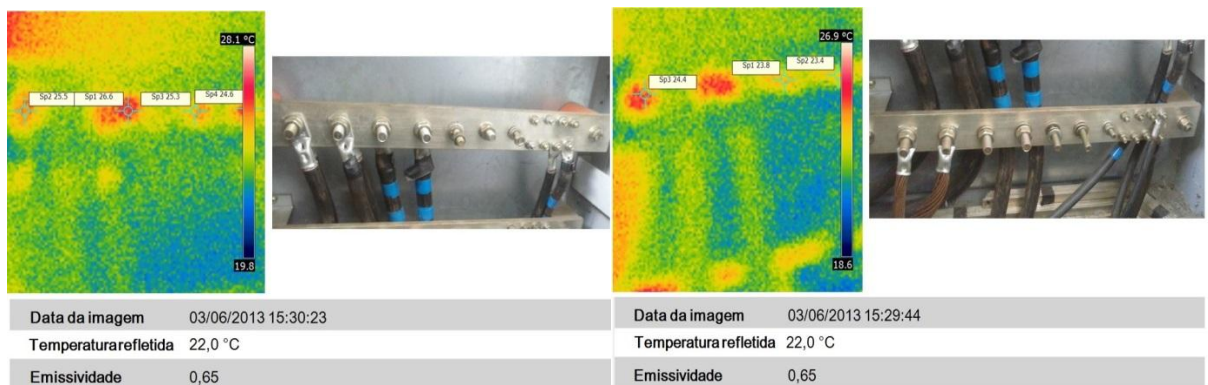


Figura 49 - Quadro geral de BT (TR 2) - neutro e terra
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 50 para a medição do tanque do transformador foi considerado o valor de emissividade de 0,56 referente à chapa de aço, a temperatura refletida medida foi de 21°C devido a menor incidência de luminosidade na parte frontal. Os valores de temperatura obtidos foram de 59°C até 60°C, segundo a MTA para transformadores de distribuição a óleo a temperatura pode chegar até 80°C.

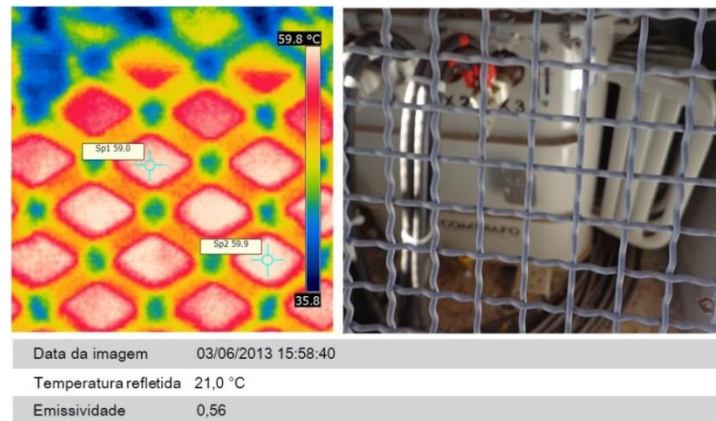


Figura 50 - Tanque (TR 2)
Fonte: Autoria própria.

Os valores obtidos para os cabos na saída BT do transformador 2 foram de cerca de 23°C, conforme pode ser observado na Figura 51. O valor de emissividade utilizado foi igual a 0,9 (borracha). O valor de temperatura obtido não representa sobreaquecimento segundo o MTA para condutores (70°C).

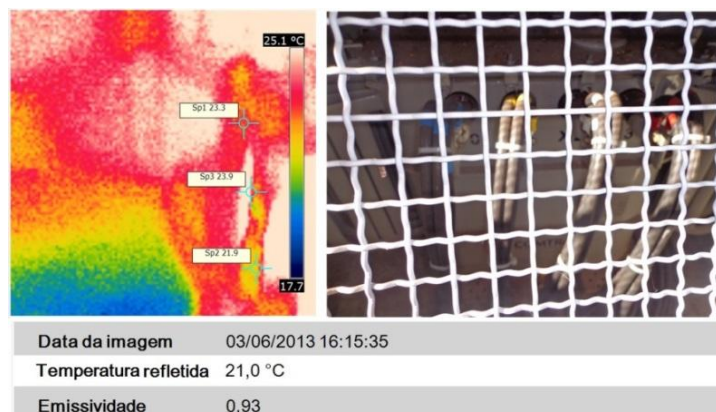


Figura 51 - Cabos de saída (TR 2)
Fonte: Autoria própria.

A seguir conforme Figura 52 os valores obtidos para o protetor de surto do condutor de aterramento foram de cerca de 26°C. A emissividade utilizada foi igual a 0,65 (cobre). Considerando a MTA para conexões, componentes metálicos e barramentos, aparentemente não há alteração térmica.

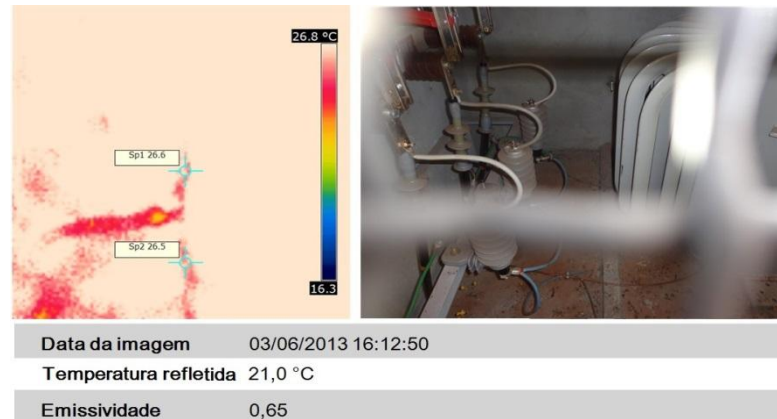


Figura 52 - Proteção de surto (TR 2)
Fonte: Autoria própria.

4.3.3 Cabine de transformação 3

Nas figuras seguintes são apresentados os barramentos do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do transformador 3, sendo as imagens retiradas entre 15h00 e 16h30 do dia 20/05/2013, com umidade relativa do ar de 30% e temperatura ambiente de 22°C. O quadro geral BT do transformador 3 é apresentado na Figura 53 a seguir, para melhor localização dos equipamentos.

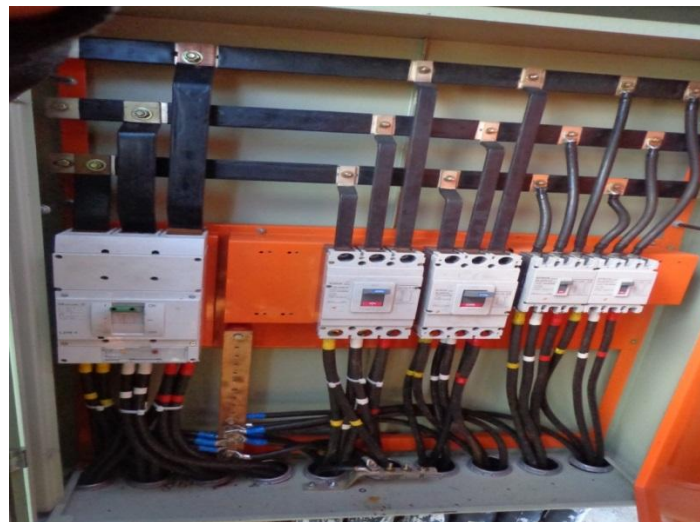


Figura 53 - Quadro geral BT (TR 3) – visão interna
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 54 são mostrados os termogramas referentes aos barramentos do QGBT do transformador 3 que possuem revestimento, o que facilita a análise termográfica devido ao maior valor de emissividade, no caso 0,95 e os termogramas

referentes as conexões nos barramento com emissividade de 0,65. A temperatura aparente refletida era de 25°C.

A temperatura nos barramentos obtida é cerca de 29°C, ou seja, um pouco acima do valor de temperatura ambiente. Na sequência, nas derivações do mesmo barramento para os outros disjuntores a temperatura medida é ainda menor de 27°C. Tais temperaturas não representam sobreaquecimento conforme valores do Quadro 4 para conexões e barramentos de baixa tensão.

Para os mesmos barramentos agora com emissividade referente ao cobre é possível notar um maior sobreaquecimento em uma das conexões no (c) Barramento do Disjuntor 1 – Cobre de 29°C em relação as demais de 27,6°C e 26,2°C. Na sequência para as demais conexões no termograma (d) Barramento do Disjuntor 1,2,3 - Cobre as conexões apresentam valores mais próximos entre si sendo o maior valor de 26,5°C. As demais conexões desses barramentos também foram avaliadas, não caracterizando um sobreaquecimento considerável.

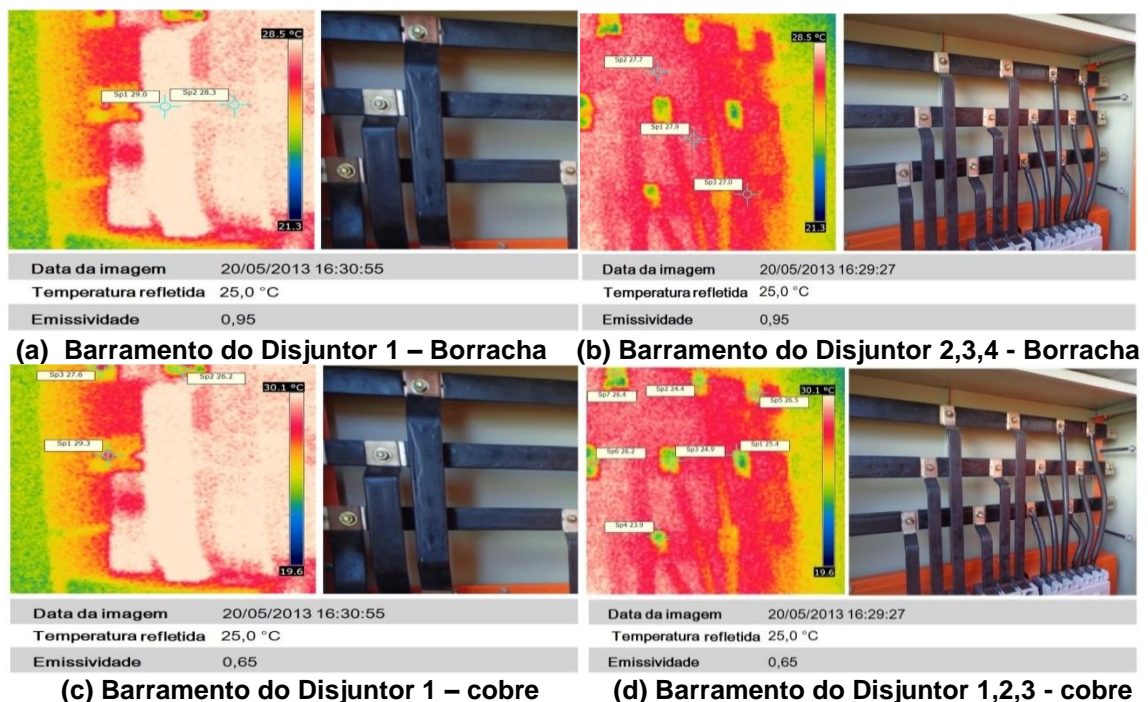


Figura 54 - Quadro geral de BT (TR3) - barramentos e conexões
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 55 corresponde a medição termográfica dos condutores do painel do transformador 3 considerando emissividade de 0,93 (borracha), os valores obtidos para as três fases foram bem próximos e 28°C. Sendo a MTA para

condutores considerados na análise em questão de 70°C, não há indícios de anomalia.

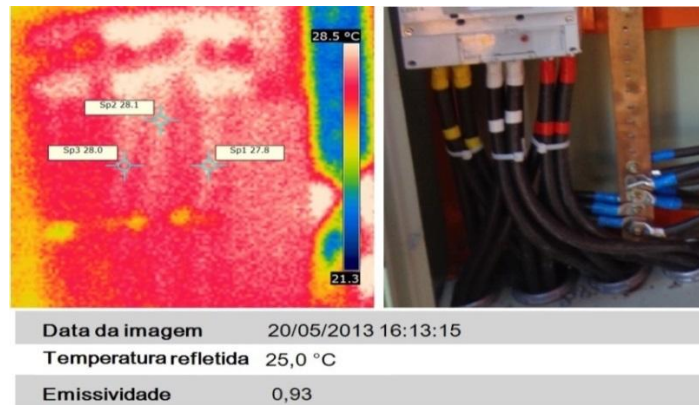
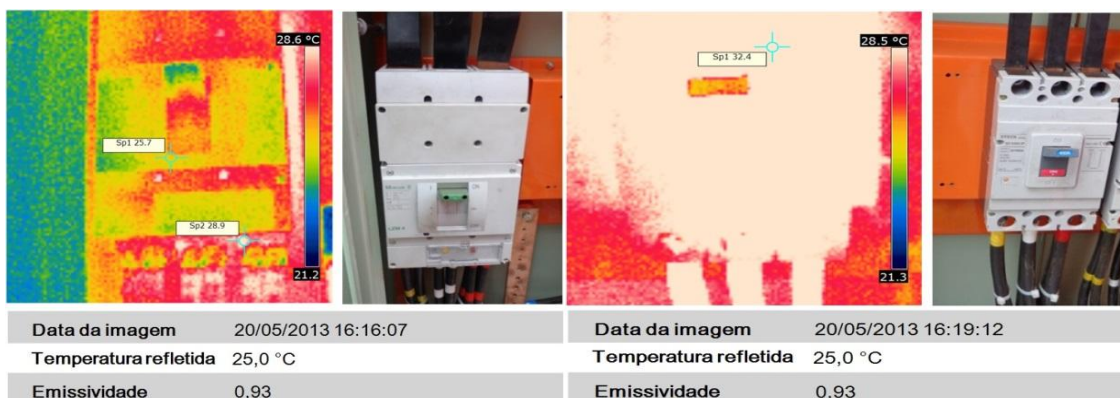


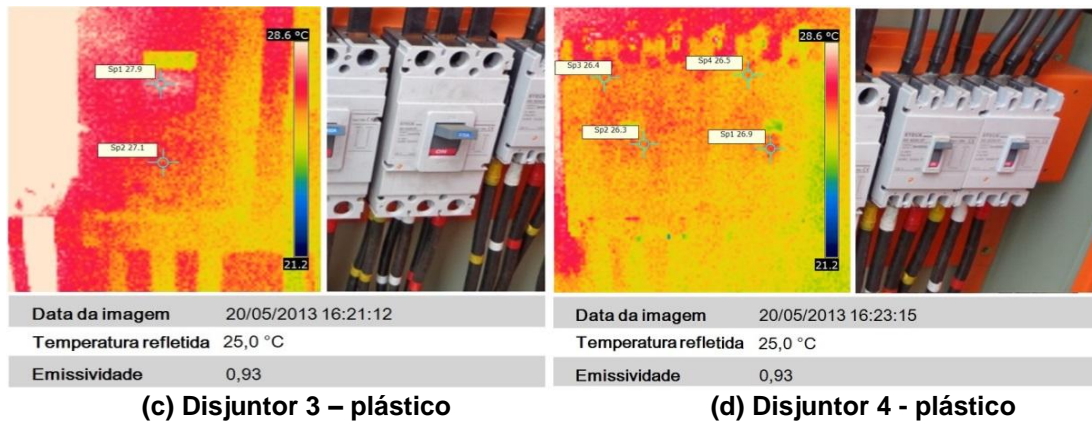
Figura 55 - Quadro geral de BT (TR 3) - condutores
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 56 para uma temperatura refletida de 25°C, emissividade de 0,93 referente ao plástico obteve-se no (a) Disjuntor 1 – plástico uma temperatura máxima de 28,9°C, já para (b) Disjuntor 2 – plástico o valor foi de 32,4°C. No (c) Disjuntor 3 - plástico o ponto mais aquecido era de 27,9°C, e no termograma (d) Disjuntor 4 - plástico mostra dois disjuntores, sendo o valor medido entre 26°C e 27°C. Segundo MTA para disjuntores considerado nesta análise foi de 100°C para contatos e articulações de disjuntores.



(a) Disjuntor 1 – plástico

(b) Disjuntor 2 - plástico



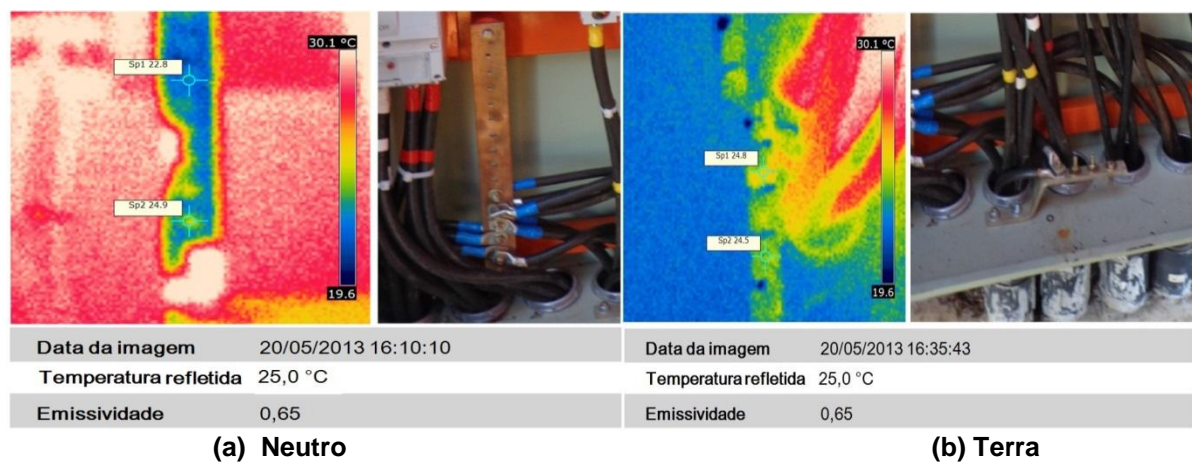
(c) Disjuntor 3 – plástico

(d) Disjuntor 4 - plástico

Figura 56 - Quadro geral de BT (TR 3) - disjuntores

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 57 para um valor de emissividade de 0,65 (cobre), temperatura refletida de 25°C é apresentado nos termogramas do neutro e terra do quadro respectivamente, no (a) neutro tem-se uma temperatura de 22,8°C com uma máxima de 24,9°C no ponto onde há várias conexões. Com relação ao termograma (b) terra a temperatura obtida fica em cerca de 24°C a 25°C. Comparando-se com os valores de MTA para conexões e barramentos de baixa tensão não é detectado sinais de anomalia.



(a) Neutro

(b) Terra

Figura 57 - Quadro geral de BT (TR3) – neutro e terra

Fonte: Autoria própria.

Na sequência, Figura 58 tem-se as imagens referentes à cabine, considerando temperatura refletida de 23°C e umidade relativa do ar de 30% sendo a temperatura ambiental nesse dia de 18°C.

Os valores obtidos para os condutores na (a) cabine – TR3 - borracha como pode ser observado variaram entre 30°C a 32°C, conforme o ponto medido nos

cabos, para um valor de emissividade de 0,93 (borracha). Na (b) cabine – TR3 – chapa de aço com um valor de emissividade de 0,56 (carcaça), os valores obtidos de aquecimento são de 54,7°C no ponto mais quente. Tais valores se encontram dentro dos limites aceitáveis segundo os valores de MTA para condutos e transformadores a óleo, os quais são de 70°C e 80°C respectivamente.

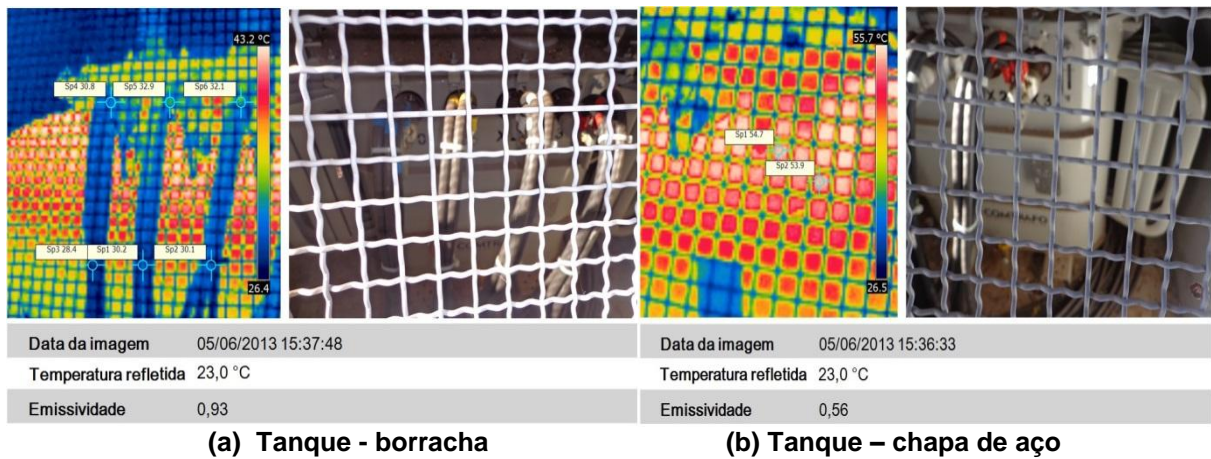


Figura 58 - Conexão dos cabos de saída (TR 3)
 Fonte: Autoria própria.

É observado na Figura 59 para um valor de emissividade de 0,92 (cerâmica) para um aquecimento de 30,7°C na ponta do isolador e de 32,1°C mais próximo a base. Se considerarmos a MTA do Quadro 4 referente a conexões em transformadores a óleo de 90°C, o valor obtido ainda é inferior.

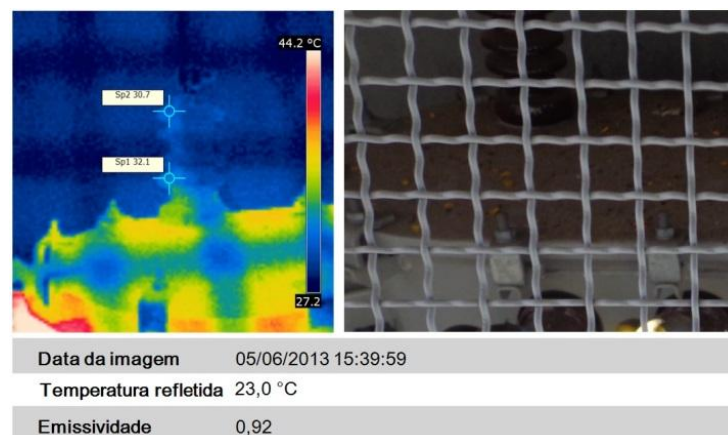


Figura 59 - Mufla (TR 3)
 Fonte: Autoria própria.

4.3.4 Cabine de transformação 4

O Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) é apresentado Figura 60, sendo as imagens retiradas entre 15h00 e 16h30 do dia 20/05/2013, com umidade relativa do ar de 30% e temperatura ambiente de 22°C.



Figura 60 - Quadro de Geral de BT (TR 4) – visão interna
Fonte: Autoria própria.

Os termogramas a seguir, Figura 61, referem-se à chegada dos condutores provenientes do transformador 4, com emissividade 0,93 referente a borracha para um valor de temperatura refletida de 25°C. Observa-se tanto para (a) Disjuntor 1 – borracha quanto para (b) Disjuntor 2 – borracha os valores de temperatura são próximos de 25°C nos condutores das três fases. Considerando os valores de MTA para condutores de 70°C não é observado anomalias nos condutores do transformador 4.

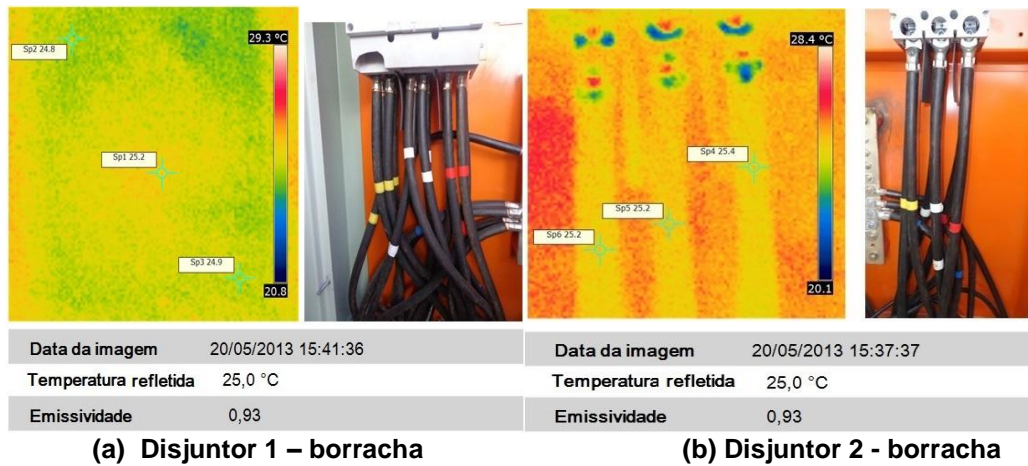


Figura 61 - Quadro geral de BT (TR4) - condutores
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 62 para o barramento de neutro o valor de temperatura observado é de aproximadamente 30°C, enquanto que para o terra é de 23,5°C, sendo que para ambos os casos a emissividade utilizada é de 0,65 referente ao cobre.

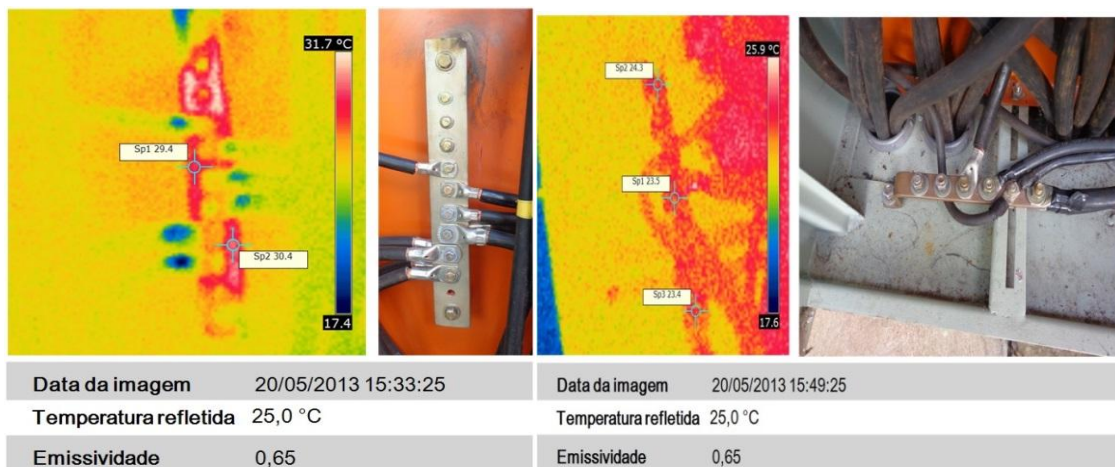


Figura 62 - Quadro geral de BT (TR 4) – neutro e terra
Fonte: Autoria própria.

A Figura 63 mostra a análise termográfica do disjuntor geral do quadro BT, considerando um valor de emissividade de 0,93 referente ao plástico. Os valores obtidos de temperatura variam em torno de 25,5°C, não representando anomalia, conforme os dados do Quadro 4, no qual a MTA do disjuntor é de 100°C. Para os demais disjuntores foi realizada a análise termográfica, porém não foi coletado termogramas devido aos valores obtidos serem próximos de 25°C, também não caracterizando anomalia.

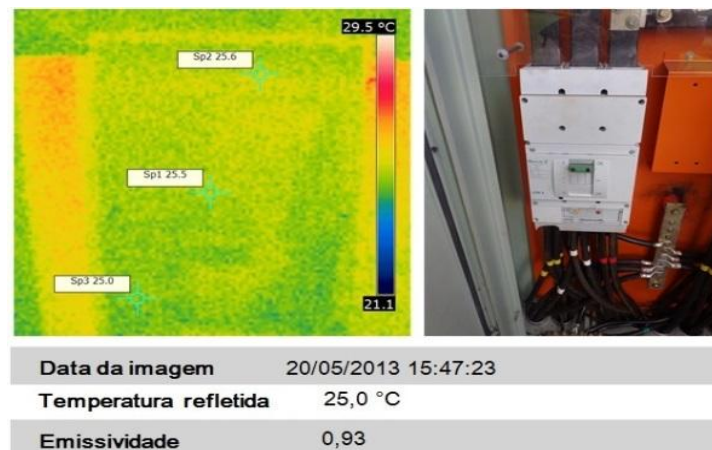


Figura 63 - Quadro geral de BT (TR 4) - disjuntores
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 64 se referem à cabine para uma umidade relativa de 30% e temperatura ambiente de 15°C com temperatura refletida de 20°C, conforme esperado para um dia nublado. Nesta é mostrado os condutores para a emissividade de 0,93 (borracha), a temperatura obtida é de cerca de 28°C para os condutores das três fases, porém abaixo do MTA para condutores 70°C.

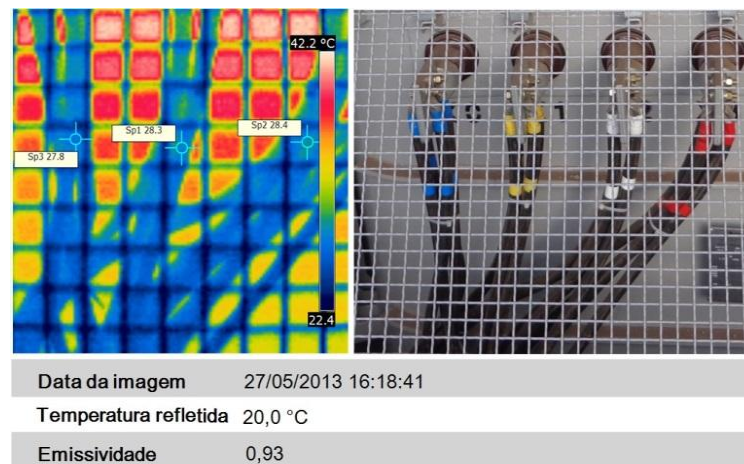


Figura 64 - Condutores de saída (TR 4)
Fonte: Autoria própria.

O valor encontrado de temperatura do tanque (Figura 65) no ponto mais quente foi de 56,5°C para um valor de emissividade de 0,56 referente à chapa de aço. Segundo os valores de MTA do Quadro 4 para o corpo do transformador é de 80°C.



Figura 65 - Tanque (TR 4)
Fonte: Autoria própria.

A Figura 66 apresenta o termograma referente às buchas, considerando a emissividade de 0,92 (cerâmica) e temperatura refletida de 20°C.

No termograma (a) buchas é perceptível uma temperatura maior na base de 34°C, enquanto no termograma (b) entradas o maior valor encontrado foi de 40°C. Se considerarmos os valores de MTA para pontos de conexão do transformador de 90°C, não há anomalias aparentes.

O ultimo termograma (c) condutor de cobre para uma emissividade 0,65 o valor obtido de temperatura foi de aproximadamente 34°C, considerou-se a MTA para conexões, componentes metálicos e barramentos de 90°C, verificando-se a conformidade da instalação segundo esses critérios.

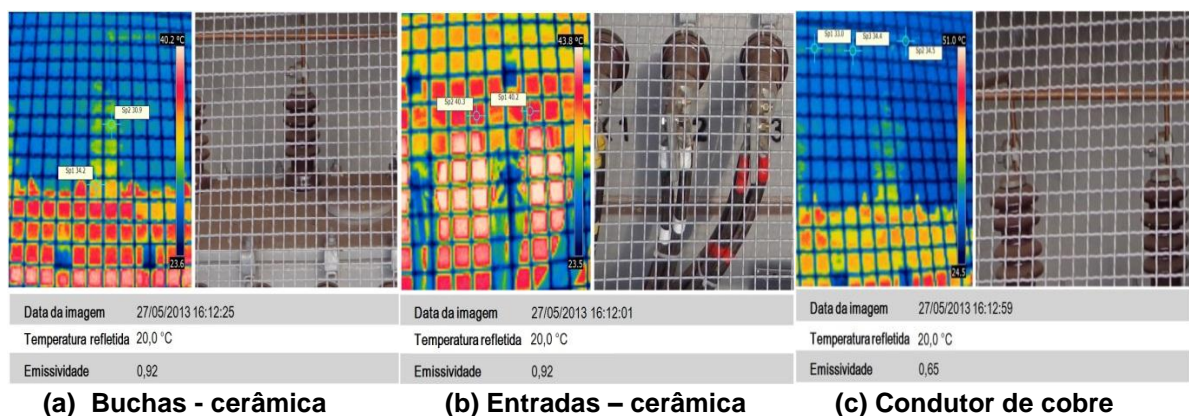


Figura 66 - Bucha (TR 4)
Fonte: Autoria própria.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando os dados apresentados nas seções 4.1 a 4.3, demanda e consumo da tarifa de energia, análise de carga dos transformadores de distribuição e termografia das cabines de transformação, obteve-se uma avaliação quanto à operação geral, identificação de futuras falhas e a detecção da necessidade de compensação de reativos do sistema elétrico da Universidade. A primeira avaliação permitiu visualizar o consumo e demanda da Instituição no lado de alta tensão e forneceu uma base de comparação para os dados coletados com o analisador de grandeza. A segunda análise permitiu verificar o funcionamento no lado de baixa tensão de cada transformador individualmente. A terceira avaliação forneceu informações sobre existir ou não alterações térmicas, devido a problemas de conexões, desequilíbrios de carga, sobredimensionamento, desbalanceamento de fase ou defeitos causados por aquecimentos em geral.

5.1 FATURAMENTO DE ENERGIA

A partir da análise de demanda da fatura verificou-se o aumento na demanda contratada durante o intervalo de um ano (08/2012 – 08/2013), devido ao um aumento também no consumo com algumas oscilações. Ao longo deste período a demanda passou de 240KW para 280KW com dois meses no ano de 2012 (Outubro e Dezembro) e dois meses em 2013 (Janeiro e Março) indicando ultrapassagem. A parcela mais significativa do consumo encontra-se no horário fora de ponta, entretanto na fatura de energia o consumo na ponta representou uma quantidade tão significativa a ser pago quanto o consumo fora de ponta, uma vez que neste intervalo o consumo apresenta tarifas mais onerosas. A fatura também apresentou 2% em reativos excedentes, conforme Figura 15. A Universidade não apresenta um aproveitamento satisfatório do sistema de distribuição interno, de acordo com os fatores de carga calculados, mas este comportamento tende a sofrer mudanças com a entrada de novas cargas.

Com base nestes dados analisados pode-se concluir que não há necessidade de mudança do sistema tarifário horo-sazonal verde, uma vez que o consumo da UTFPR encontra-se concentrado nos horários fora de ponta, não requerendo assim uma demanda contratada diferenciada no horário de ponta e fora

de ponta. Porém como a demanda medida tende a sofrer acréscimo com a expansão da universidade será necessário um acompanhamento periódico na fatura para uma determinação adequada da demanda contratada.

5.2 DADOS COLETADOS NOS TRANSFORMADORES

Nas coletas realizadas através do analisador, observou-se que o transformador 1, o qual suportava inicialmente toda a carga da Universidade até ampliação, apresenta um consumo de reativo maior que os três transformadores de 300 KVA, independente do turno. Isto não ocorre somente por este transformador possuir uma capacidade nominal de 500KVA, mas também por alimentar uma maior quantidade de carga, dado que também possui um consumo de potência ativa mais significativa que o restante dos transformadores, ver apêndice. Este transformador é responsável pela alimentação dos blocos administrativos, da parte mais antiga dos blocos L, M, N, lanchonete dos alunos e refeitório dos servidores, almoxarifado, além dos blocos de laboratórios H, I e J, como já citado.

A Tabela 6 apresenta os maiores valores registrados de potência reativa nos quatro transformadores em um dia típico da semana, que permaneceram por mais de 15 minutos por turno, a coluna ao lado dos valores correspondem aos horários ocorridos. Os valores com horário não especificado ocorreram mais de uma vez ou permaneceram oscilando muito próximo ao longo do período observado. Esses valores tabelados são referentes aos dados registrados dos gráficos dos Apêndices.

Tabela 6 - Maior valor registrado de potência reativa por turno

COMPORTAMENTO TÍPICO DA POTÊNCIA REATIVA									
TR	Data	Madrugada (KVAr)	23h30 6h30	Manhã (KVAr)	6h30 12h00	Tarde (KVAr)	12h00 18h00	Noite (KVAr)	18h00 23h30
1	05/04	15	-	18	10h00	22	15h00	22	18h30
2	02/04	0	-	-2,5	-	-2,5	-	-2,5	-
3	19/04	20	-	20	-	20	-	20	-
4	12/04	-2,5	-	-4	-	-4	-	-5	20h00

Fonte: Autoria própria.

Os transformadores 2 e 4 apresentam características similares quanto ao comportamento de potência reativa. Ambos registraram consumo capacitivo em

todos os turnos, com exceção da madrugada em que não apresentaram consumo de reativo. Entretanto estes transformadores estavam em funcionamento, conforme pode ser visualizado no gráfico de tensão e corrente nos Apêndices D e F. Isto ocorre porque estes transformadores são responsáveis por locais onde foram instalados luminárias com reatores de alto fator de potência.

A Tabela 7 apresenta os maiores valores registrados de potência ativa em um dia típico da semana, que permaneceram por mais de 15 minutos por turno. Pode ser observado que o segundo transformador a apresentar um consumo significativo é o transformador 3, responsável pelos circuitos do anfiteatro, antiga biblioteca, restaurante universitário (antigo) e futuramente as novas instalações do novo restaurante universitário, os blocos P, S, O e o bloco da coordenação dos cursos de Contábeis e de Administração, como já mencionado.

No transformador 1, o consumo de potência ativa é maior a tarde, sendo o consumo de manhã e noite proporcionais. Já no transformador 3, o consumo de potência ativa é maior na parte da manhã (possivelmente em função da operação do Restaurante Universitário), sendo os valores da tarde e noite aproximados. Entretanto ambos possuem consumo baixo durante a madrugada, porém maiores que dos transformadores 2 e 4.

Tabela 7 - Maior valor registrado de potência ativa por turno

COMPORTAMENTO TÍPICO DA POTÊNCIA ATIVA									
TR	Data	Madrugada (KW)	23h30 6h30	Manhã (KW)	6h30 12h00	Tarde (KW)	12h00 18h00	Noite (KW)	18h00 23h30
1	05/04	30	-	90	11h00	112	14h30	90	19h00
2	02/04	5	-	22	9h30	30	-	30	20h00
3	19/04	35	-	90	11h00	75	16h00	70	19h00
4	12/04	4	-	15	10h00	12	13h30	18	19h00

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 8 mostra a pior situação registrada do fator de potência por turno em um dia típico da semana. Pode-se observar que os valores dos transformadores 1 e 2 estão dentro dos limites exigidos durante o dia, uma vez que estes apresentam maior solicitação de potência ativa durante todo o período. Já os transformadores 3 e 4 registraram valores baixo de fator potência, porém estes valores estão compreendidos apenas entre 6h30 as 8h00 e entre 22h45 as 23h30. Isto ocorre

devido aos circuitos de iluminação serem desligados no início do dia e final do turno da noite, porém com o crescimento de carga no restante do período este fator permanece acima do valor exigido. Ambos possuem um valor abaixo de 0,92 de madrugada, porém neste intervalo o referencial é capacitivo, não contribuindo com multa por excedente de reativo das 23h30 às 6h30. Estes intervalos baixos no transformador 4 podem ser atribuídos ao fato deste ser responsável pelos circuitos alimentadores do bloco V e da biblioteca nova, a qual no momento das medições ainda não havia entrado em funcionamento.

Tabela 8 - Menor valor registrado por turno

COMPORTAMENTO TÍPICO DO FATOR DE POTÊNCIA									
TR	Data	Madrugada	23h30 6h30	Manhã	6h30 12h00	Tarde	12h00 18h00	Noite	18h00 23h30
1	05/04	0,90	-	0,92	6h30	0,95	12h30	0,92	22h30
2	02/04	0,86	5h30	0,94	7h00	0,96	-	0,96	-
3	19/04	0,82	-	0,82	7h00	0,94	-	0,84	23h00
4	12/04	0,75	-	0,65	7h00	0,85	16h00	0,75	23h00

Fonte: Autoria própria.

Os valores obtidos da concessionária em relação ao fator de potência da Universidade estão na faixa de 0,80 nos horários de início (6h30 – 8h15) e fim do dia (22h45 – 23h30). Estes valores registrados no lado de alta tensão pela concessionária apresentam duração de 1 hora e 45 min no turno da manhã e 45 min no turno da noite. Os dados da fatura são condizentes com os valores encontrados individualmente nos transformadores 3 e 4, indicando um sistema trabalhado sobredimensionado para a atual condição de carga da instalação da Instituição.

Todos os transformadores nos finais de semana apresentam um pequeno consumo com fator de potência abaixo do referencial indutivo ao longo do dia. Os melhores valores registrados são do transformador 1, o qual se mantém mais próximos ao recomendado durante o período das 8h30 às 18h00. No ponto de entrada (lado de alta tensão), observou-se que o fator de potência encontra-se dentro dos limites indutivos apenas durante o intervalo de 1 hora e 30 min (8h15 - 9h45). Aos domingos o fator de potência registrado foi entre o intervalo de 0,6 a 0,8 no lado de alta tensão. Ou seja, na fatura pode-se comprovar que os valores

registrados de potência ativa nos finais de semana foram muito inferiores aos encontrados durante um dia útil.

O baixo fator de potência registrado nos dias úteis durante pequenos intervalos de tempo, ocasionado pelo superdimensionamento, pode ser solucionado com o aumento no carregamento dos transformadores 1 e 2. O que certamente ocorrerá nos próximos meses devido à inserção de novas cargas consequentes da ampliação da universidade.

Entretanto para correção do baixo fator de potência durante os finais de semana acarreta a necessidade de inserção de banco de capacitores fixos, uma vez que os transformadores estão trabalhando em condições próximas a vazio, no qual o reativo indutivo a ser compensado é decorrente do maior consumo de potência reativa em relação potência ativa.

A escolha de bancos fixos também pode ser justificada pelo fato dos reativos a serem compensados possuírem valores pequenos, sendo possível o funcionamento integral dos bancos, uma vez que o sistema apresenta poucas cargas motrizes de grande porte e uma variedade de cargas de potência pequena e ciclo operacional diversificado. Mas em caso de compensação para grandes valores de reativos se faz necessário o desligamento para não ocorrer o excesso de reativo capacitivo durante o período da madrugada.

Para este caso específico de correção pode-se então utilizar bancos de capacitores fixos com capacidade de 3% a 5% da capacidade nominal dos transformadores. Ou seja, para os transformadores de 500KVA e 300KVA podem ser instalados bancos de 20KVar e 12KVar, respectivamente. Para o transformador 3 o menor fator potência registrado de 0,82 e potência ativa correspondente de 40KW deve ser fornecido ao sistema 11,2 KVar, neste instante especificado, de modo obter um fator de potência acima do 0,92 (referencial indutivo), este aumento no fator de potência pode reduzir em 18% as perdas no sistema, conforme detalhado no item 2.4.3.

Os capacitores dimensionados para funcionamento em circuitos considerados lineares possuem restrições decorrentes do fato de que o fabricante ao projetar leva em consideração os valores normais de tensão e corrente. O sistema elétrico da universidade atualmente pode ser considerado linear devido à pequena porcentagem de cargas não lineares presentes, bem como o formato de onda senoidal da tensão e corrente não aparentarem distorção.

Futuramente com a inclusão de novas cargas indutivas haverá solicitação de reativos além do utilizado para magnetização do transformador, acarretando na inclusão de bancos automáticos, os quais são empregados para uma manutenção do fator de potência em uma faixa muito estreita de variação no tempo da curva de carga reativa.

Estas correções não somente alivia a rede a concessionária como também melhora os aspectos operacionais internos à instalação da unidade consumidora, tais como liberação da capacidade de transformadores e dos cabos e a redução das perdas.

5.3 MEDIÇÃO TÉRMICA

As coletas dos termogramas nas cabines ocorreram todas próximo às 15h00, período correspondente ao valor de maior potência, conforme recomendações da literatura. No caso dos transformadores 1 e 2 com carga nominal de 22% (112KVA) e 11% (32KVA) no momento das medições termográficas, respectivamente. E para os transformadores 3 e 4 durante o período das coletas o valor de potência correspondia ao segundo maior valor de carga encontrado na operação do sistema elétrico, ou seja, de 23% (70KVA) e 4% (12KVA), respectivamente.

Os valores de temperatura medidos nos cabos condutores, nos quadros gerais de BT dos quatro transformadores, variam em uma faixa de 20 °C a 35 °C. Segundo os valores considerados de MTA (máxima temperatura admissível) para condutores de 70°C, conforme descrito no Quadro 6, os valores obtidos se encontram dentro dos limites aceitáveis. Entretanto o termograma apresentado na Figura 35 (transformador 1) indicam temperatura superior na fase B em relação aos demais, caracterizando um desequilíbrio de fase devido ao fato do aquecimento ser contínuo ao longo dos cabos e demais equipamentos.

Os valores obtidos para as conexões e barramentos nos quadros gerais variam entre 18°C a 35,6°C. Tais valores se comparados com MTA para barramentos e conexões (90°C), não apresentam aparentemente anomalia. Contudo os valores de conexões que podem ser observados na Figura 36.b (transformador 1) variam consideravelmente um em relação ao outro indicando possivelmente que as conexões com maior temperatura estejam com problemas de contato.

Os valores encontrados para corpos fusíveis nos transformadores variaram entre 16°C a 29,5 °C, considerando a MTA para fusíveis de 100°C. Nos termogramas da Figura 38.b e 41.d a temperatura apresenta-se superior com relação aos demais. Apesar de nenhum desses valores ultrapassarem a MTA de corpos fusíveis, componentes que apresentem temperaturas superiores aos demais levantam suspeitas em análises termográficas, porém como a elevação de temperatura se dá em um grupo de fusíveis o motivo mais provável é que estejam atendendo a um circuito mais carregado.

Para os disjuntores, os valores medidos nos quadros gerais, tiveram valores entre 25°C a 29°C aproximadamente. Tais valores não caracterizam sobreaquecimento, uma vez que a MTA para disjuntores é considerada de 100°C.

Em relação aos condutores de saída dos transformadores foram obtidas temperaturas entre 30°C e 34°C sendo o MTA de 70°C, logo os resultados não representam sobreaquecimento. No caso dos tanques os valores obtidos estavam entre 49,5°C e 60°C, sendo o maior destes no transformador 2. A MTA para transformadores de distribuição a óleo pode chegar até 80°C. O máximo valor obtido para as buchas foram aproximadamente 30°C a 34°C. A MTA considerada referente a buchas (conexões) em transformadores a óleo é de 90°C, logo os valores obtidos são inferiores ao máximo admissível, não aparentando anomalia.

Assim, os resultados das termografias obtidos permitiram uma percepção das condições do sistema elétrico da Universidade, que com exceção do desequilíbrio de fase mencionado na cabine do transformador 1, segundo os dados coletados, está em bom estado de funcionamento. Porém, salienta-se que estes dados possam sofrer alterações com a entrada em funcionamento das novas edificações e ambientes nos próximos meses quando a carga possivelmente estará mais próxima à nominal.

Salienta-se também que em função do baixo carregamento do sistema elétrico atual, as avaliações não puderam seguir uma das orientações das técnicas termográficas. Os critérios de classificação de anomalias, que permitem uma previsão da operacionalidade do sistema, por serem indicados para cargas superiores a 50% da nominal, valor de carregamento não encontrado em nenhum horário nos transformadores na universidade.

É recomendada a inspeção termográfica em sistemas elétricos periodicamente de seis em seis meses, para verificação das condições atuais de

funcionamento dos equipamentos. Assim como coletas de dados com analisador de grandeza para traçar o desempenho dos transformadores da subestação a cada mudança significativa de carga.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a análise do sistema elétrico da UTFPR, campus Pato Branco, no lado de baixa tensão através de medições de grandezas elétricas por meio de um analisador de qualidade de energia e pelo emprego de técnicas termográficas, além de uma avaliação na fatura de energia da Instituição com intuito de comparação com os dados obtidos.

O estudo confirmou a necessidade de compensação de reativos no sistema devido ao sobredimensionamento dos transformadores de distribuição. Também foram especificados os momentos críticos em função das multas por excedente reativo diário e semanal. Os valores obtidos permitiram traçar o comportamento característico da carga do sistema, contabilizar o consumo e obter a porcentagem em utilização da capacidade nominal das quatro subestações da Universidade. Estes dados forneceram subsídios para implementação de medidas que resultem em reduções de perdas sem afetar o funcionamento da Instituição, auxiliando nas decisões quanto a intervenções futuras no sistema elétrico como proposto nos objetivos deste trabalho.

Segundo a fatura de energia elétrica pôde-se constatar a tendência da evolução da demanda contratada, analisando a distribuição do consumo por horas na ponta e fora de ponta, verificando a existência de pagamento de excedente de energia reativa e possível registro de ultrapassagem de demanda. O valor obtido através na análise tarifaria possibilitou calcular o fator de carga, mostrando que o sistema está sobredimensionados.

E por fim, os dados obtidos com a análise termográfica, os quais se referem à condição atual do sistema elétrico no momento de inspeção, tendo caráter preditivo, indicam que o mesmo se encontra em boas condições, apenas com indícios de possíveis desbalanceamentos de carga. Salienta-se que a realização destas inspeções com carga inferior a 50% deve ser visto com cautela, podendo não ser suficiente para assegurar que, a plena operação do sistema, os transformadores, painéis e demais dispositivos não venham a apresentar falhas por sobreaquecimento. Contudo como pretendido nesse trabalho o ensaio termográfico orientou sobre possíveis defeitos no sistema elétrico sem a necessidade de desligamento.

Devido às medições terem sido realizadas em um momento de baixo carregamento do sistema e ainda anterior a uma grande mudança de carga, é recomendado à realização de uma nova medição termográfica após a entrada das novas cargas no sistema. Salientando ainda uma necessidade maior em relação à cabine do transformador 1, por esta se tratar da parte mais antiga do sistema, já tendo sofrido varias adaptações ao longo dos anos, o que pode acarretar em uma maior incidência de defeitos.

REFERÊNCIAS

A.E.FITZGERALD, Charles K. J. S. D. U. **Máquinas elétricas com introdução a eletrônica de potência**. 6 ed. ed. São Paulo: Editora Bookman Companhia, 2006.

ABENDI. ABENDI. **ABENDI, Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção**, 2012. Disponível em: <http://www.abende.org.br/info_end_oquesao_termografia.php?w=1366&h=768>. Acesso em: 25 nov. 2012.

ADENDO: Tabelas de Emissividade. Disponível em: <http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/Tabela_de_Emissividades.pdf>. Acesso em: 9 Janeiro 2013.

ÁLVARES, Ricardo C. Diagnóstico de Falhas em Pára-raios Utilizando Termografia. **Dissertação de Mestrado - UFMG**, Outubro 2008. p. 42.

ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL - Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica**. 2005.[s.n.], Brasília-DF, 2005.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 414**. 2010.[s.n.], 2010.

ANEEL. **Resolução Normativa n° 479 de 2012**. 2012.[s.n.], 2012.

BETZ, Heiko. Termografia em instalações e conjuntos de manobra de baixa tensão. **Eletricidade Moderna**, Alemanha, n. 461, p. p. 38, Agosto 2012. ISSN Ano 40.

BETZ, Heiko. Termografia em instalações e conjuntos de manobra de baixa tensão. **Eletricidade Moderna**, Alemanha, n. 461, p. 38, ago. 2012. ISSN Ano 40.

BRITO, Prof. D. J. N.; LAMIM FILHO, Paulo C. M.; ALVES, Pedro A. S. Implantação do Programa de Manutenção Preditiva de Painéis Elétricos Através da Análise Termoelétrica. Acesso em: 25 junho 2013.

CODI. **Manual de Orientação aos Consumidor - - Comitê de Distribuição de Energia Elétrica**. 2004.[s.n.], 2004.

COPEL. **Manual de Eficiência Energética**. 2005.[s.n.], Curitiba, 2005.

COPEL. **Manual de Eficiência Energética na Indústria**. 2005.[s.n.], Curitiba, 2005.

COPEL. Tarifas de Energia da COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **COPEL**, 2013. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fb2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9>>.

COPEL. Termografia - COPEL - Veículo DE INSPEÇÃO_2010.VOB. **ICTTF INTERNATIONAL CYBER THREAT TAST FORCE**. Disponível em: <<http://www.icttf.org/videofeed/SkXvE8ylag4>>. Acesso em: 2013.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações elétricas**. 5 ed. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

CPFL - SERVIÇOS. Termografia Análise de Óleo - Manutenções Elétricas. **CPFL**, 2013. Disponível em: <<http://www.solucoescpfl.com.br/secao6/22/18/4/Termografia-e-Analise-de-Oleo>>.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Manual de prédios eficientes em energia elétrica**. 2002.[s.n.], Rio de Janeiro, 2002.

ELETROPAULO. **AES ELETROPAULO**, 2013. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/sistema-de-tarifacao-de-energia>>.

ENGELETRICA. ANEXO PADRÃO - TERMO_130607 TERMOGRAFIA. Disponível em: <http://www.engeletrica.com.br/anexo_termografia.pdf>. Acesso em: Julho 2013.

FERNANDES, Prof. D. J. C. et al. **Manutenção Corretiva - Manutenção e Lubrificação de Equipamentos - UNESP**. 2010.[s.n.], Bauru, 2010.

FERNANDES, Prof. D. J. C. et al. **Qualidade da mão de obra na manutenção - Manutenção e lubrificação de equipamentos - UNESP**. [s.n.].

FILHO, João M. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FLIR SYSTEM. Detecção de SF6 em Concessionárias de Energia. **Flir**. Disponível em: <<http://www.flir.com/thermography/americas/br/view/?id=49561>>. Acesso em: 2013.

FLIR SYSTEMS. **Manual do Utilizador - InfraCAN SD**. 2007. 123p.[s.n.], 2007.

FLIR SYSTEMS. Thermal imaging guidebook for industrial applications, 2011. 27.

FLUKE. **Emissivity values of common materials**. 2009. 1p.[s.n.], USA, 2009.

FLUKE. Analisador de Qualidade de Energia Fluke 435 série II. **FLUKE**. Disponível em: <>. Acesso em: 05 Dezembro 2012.

FRAGA, Anderson S.; TAVARES, Marcos R. K.; ROSSI, Martins F. **ENSAIOS NÃO DESTRUTÍVEIS – TERMOGRAFIA**. 2009. p.9 , p.10, p.11p.[s.n.], 2009.

GASPERIC, Samo et al. THE ANALYSIS OF THERMOGRAPHIC REPORTS WITH EMPHASIS ON EMISSIVITY COEFFICIENT DETERMINATION OF BARE CONDUCTORS AND JOINTS. **19th International Conference on Electricity Distribution**, Vienna , 21-24 May 2007.

INTERACTION of light and substance, 2013. Disponível em: <http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/biofiz/classes_stud/en/med/lik/ptn/Medical%20and%20biological%20physics/1%20course/11_interaction%20light%20and%20substance.htm>.

NELSON KAGAN, Carlos C. D. B. D. O. E. J. R. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. São Paulo: EdegarBlucher, 2010.

NISKIER, Julio. **Manual de Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: S.A, 2005.

O Setor Elétrico. **A importância da utilização do cobre em transformadores de distribuição de alta eficiência**, Junho 2010. Acesso em: Agosto 2013.

OLIVEIRA, DAVI B. D. **MANUTENÇÃO PREDITIVA COM ÊNFASE EM TERMOGRAFIA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**. 2012.[s.n.], Formiga -MG, 2012.

PALUCHOWSKI, Cristian et al. Bases teóricas de inspeção termográfica para aplicação em componentes elétricos. **SIEF - Semana Internacional das Engenharias FAHOR**.

PETROBRÁS. **INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA EM SISTEMAS ELÉTRICOS** - N-2475, p. 5,7,8, Outubro 1998.

PETROBRÁS. **RECOMENDAÇÃO PRÁTICA DO GTI - Guia de Boas Práticas para Inspeção Termográfica de Equipamentos**, p. 6, 2010.

PROCEL. **Manual de Tarifação de Energia** - Procel, Agosto 2011.

PROJETO de revisão NBR15572, 2013.

RANGEL, Luiz A. F.; LIMA, Matheus J.; PINTO, Matheus F. Utilização da termografia na manutenção preditiva. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobrás/F. Fluminense**, v. 1, p. 91 - 95, 2010.

SANTOS, Felipe G. D.; RODRIGUES, Pablo G.; FARIA, Luan M. O emprego da Termografia na inspeção preditiva. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, p. 253 -259, 2012.

SANTOS, Marcos A. D. M. O Emprego da Termografia na Inspeção Preditiva. **Bolsista de Valor - Instituto Federal Tecnológico Fluminense**, 2010.

SUESUT, T. et al. Emissivity Measurements on Material and Equipment in Electrical. **Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)**, Gyeonggi-do, Korea, Outubro 2011. 2.

TESTO. **Eletro Termografia**. Disponível em:

<<http://www.testo.com.br/online/embedded/Sites/BRA/MainNavigation/ServiceAndSupport/Catalogs/ET.pdf>>. Acesso em: Janeiro 2013.

TESTO. **Guia de Bolso Testo para Termografia. We measure it. TESTO**. Disponível em:

<http://www.testo.com.br/online/embedded/Sites/BRA/MainNavigation/ServiceAndSupport/Catalogs/Guia_Termovisxo.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2012.

UTFPR. **Universidade Tecnologia Federal do Parná. UTFPR - Campus Pato Branco**, 2012. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/o-campus/historico>>. Acesso em: 05 Dezembro 2012.

VALLE, Jaques M. **Instalação de janela de inspeções termográficas**. Disponível em:

<<http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/91-instalacao-de-janela-de-inspecoes-termograficas.html>>. Acesso em: 25 nov. 2012.

VERATTI, Atílio B. **ICON Tecnologia - A Qualidade em Termografia**. Disponível em:

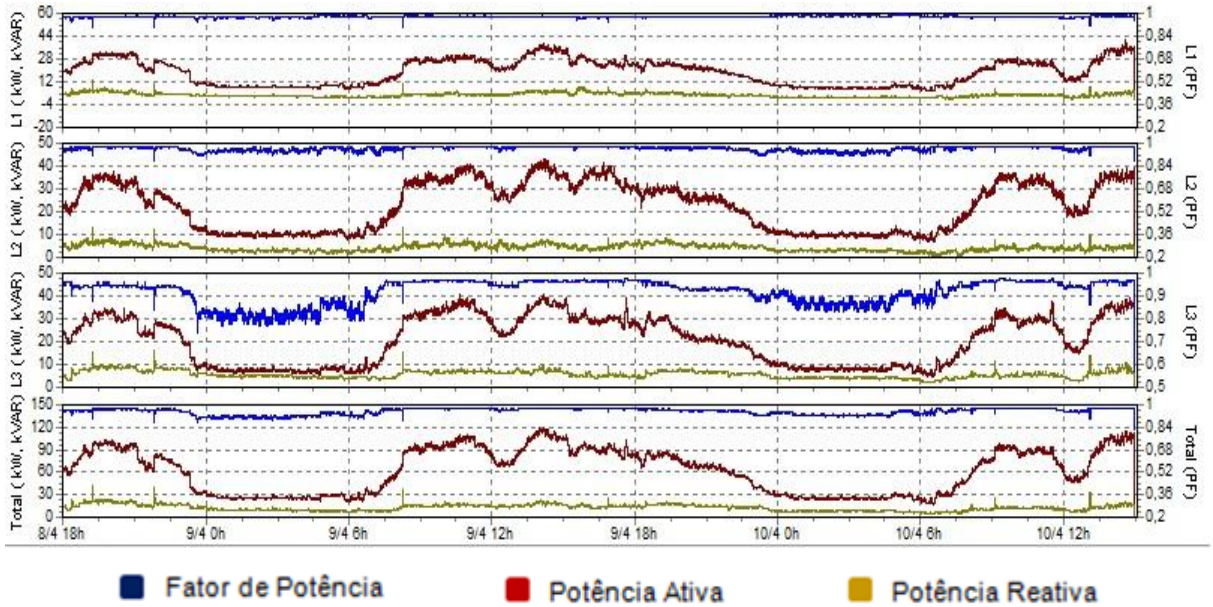
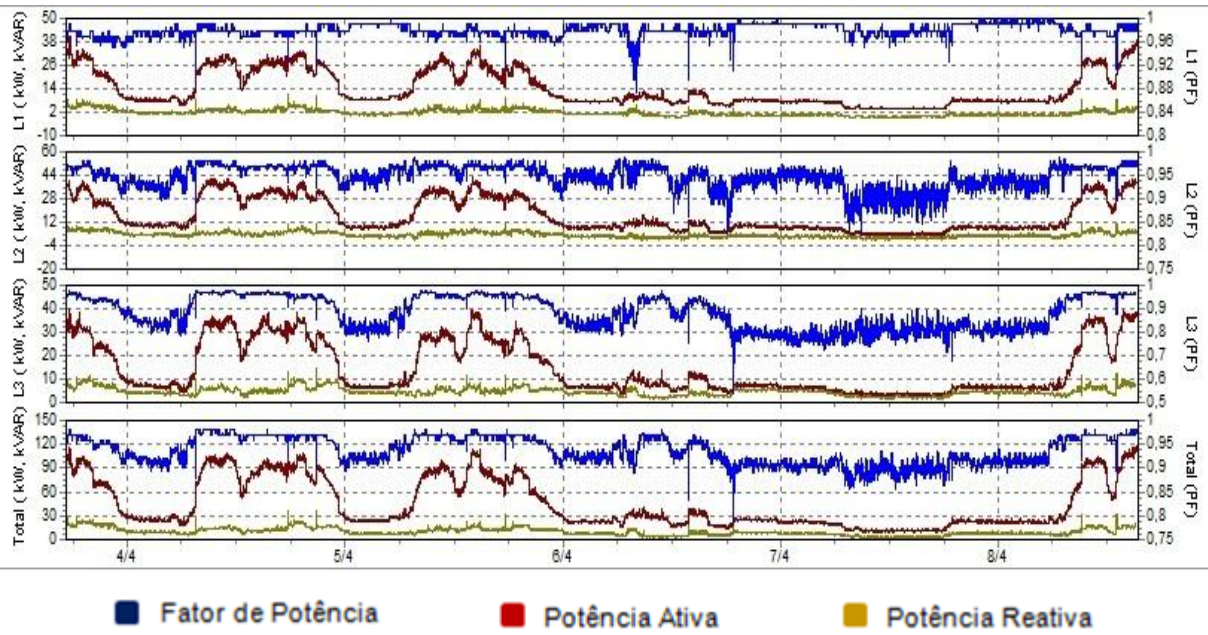
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAMI/MAF/icon-tecnologia-a-qualidade-termografia>>. Acesso em: 21 Julho 2013.

VERATTI, Eng. A. B. ICON Tecnologia - A Qualidade em Termografia. Acesso em: Julho 2013.

WEG. Características e especificações de transformadores de distribuição e força. Disponível em: <http://diacca.ifrn.edu.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=corpodocente:breno.moura:disciplinas:dt_11_transformadores.pdf>. Acesso em: 03 Junho 2013.

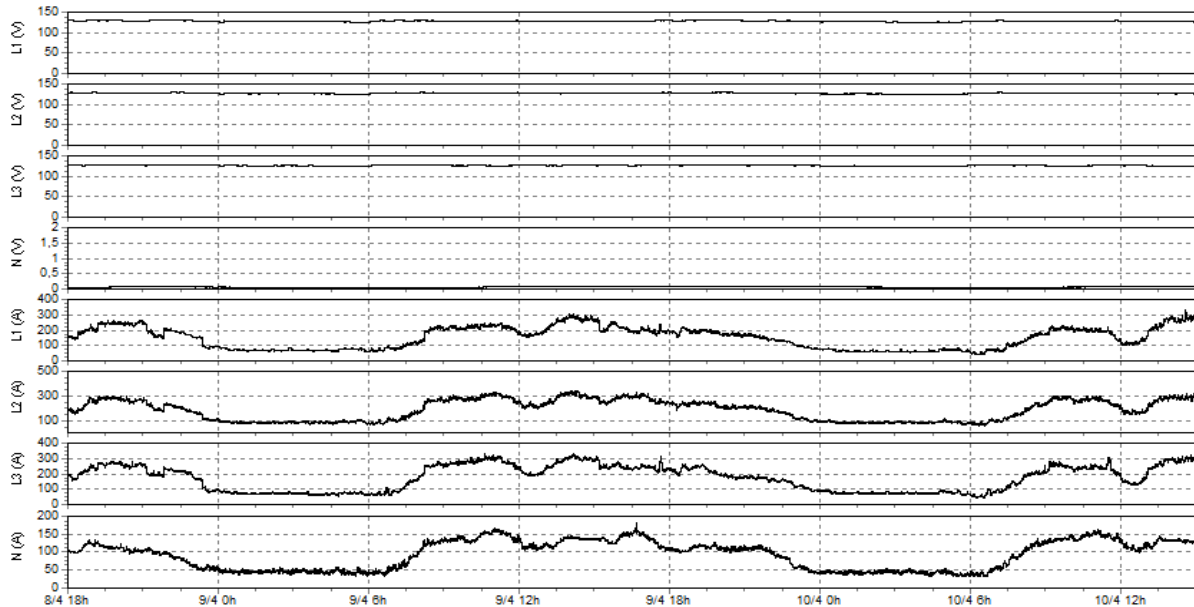
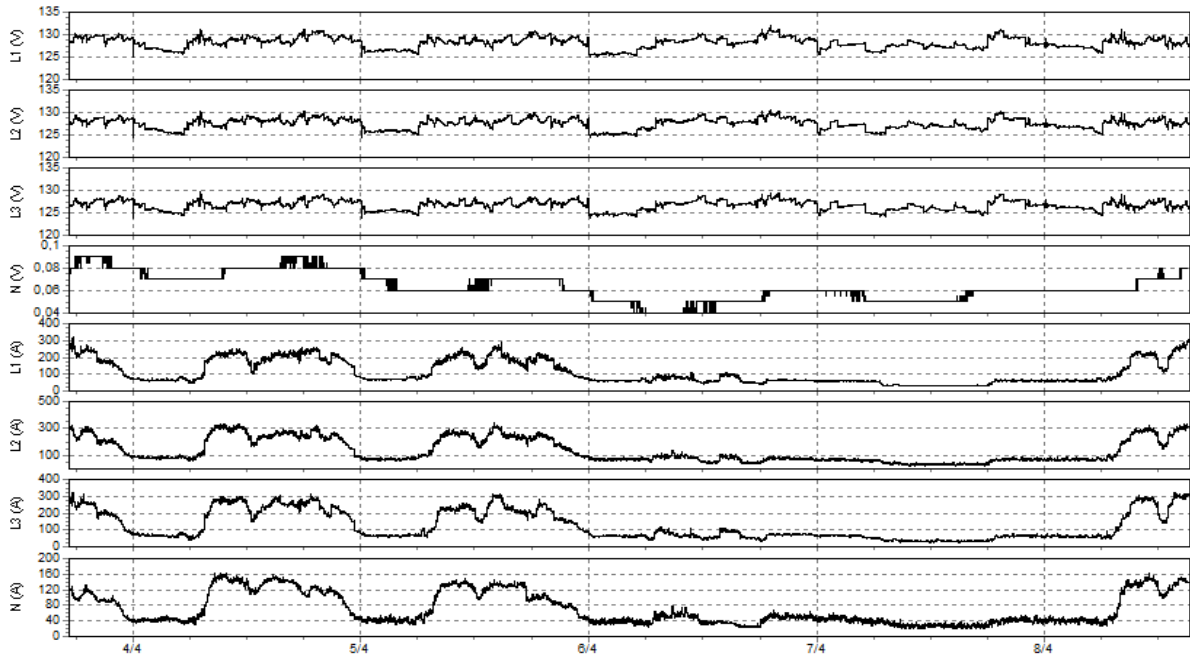
APÊNDICE A

TRANSFORMADOR 1: Coletados valores médios de Potência Ativa, Potência Reativa e Fator de Potência realizado em 03/04/2013 - 10/04/2013.



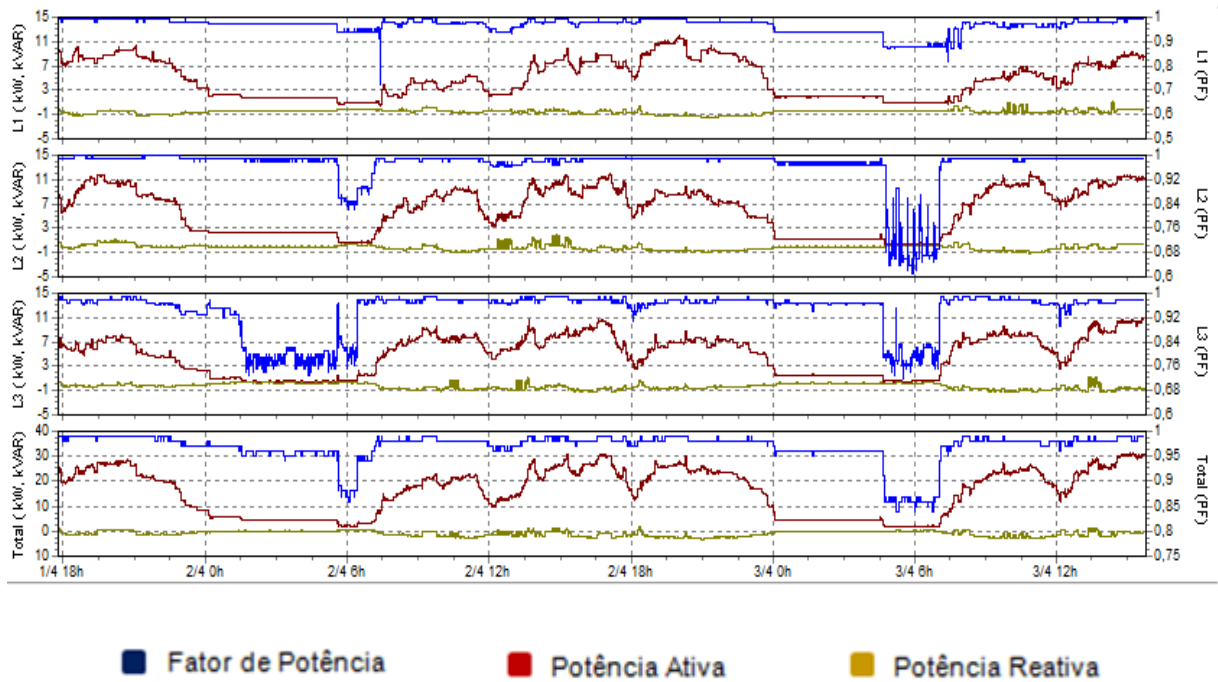
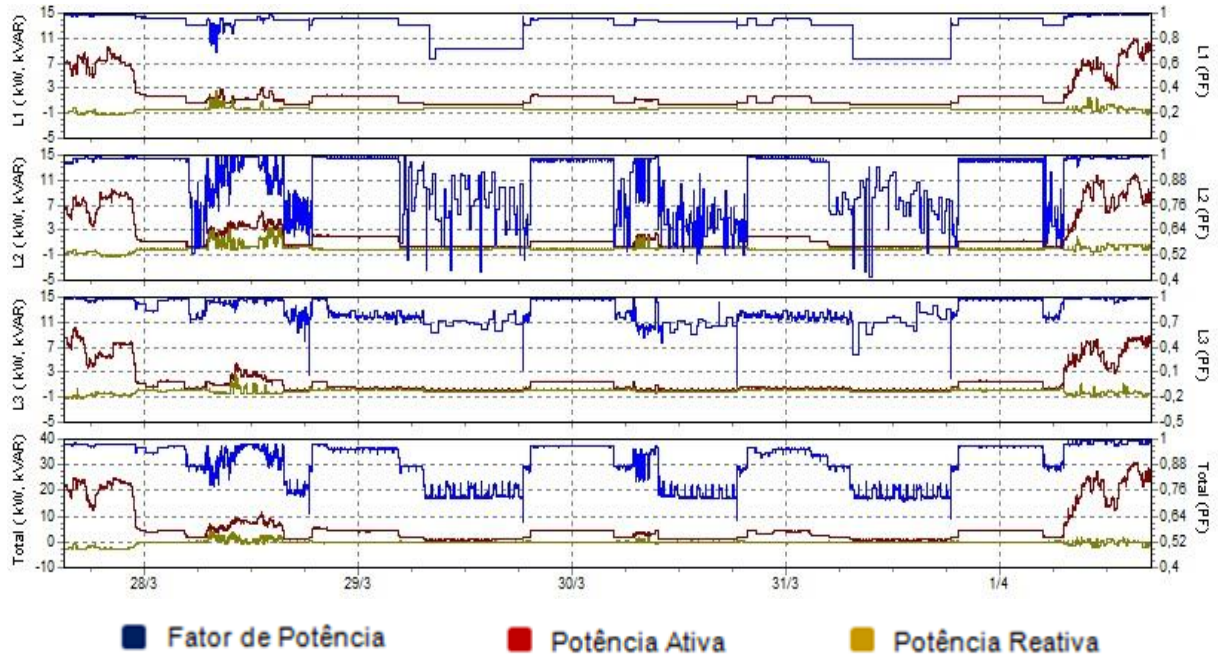
APÊNDICE B

TRANSFORMADOR 1: Coletados valores médios de Tensão Nominal e Corrente Nominal realizado em 03/04/2013 - 10/04/2013.



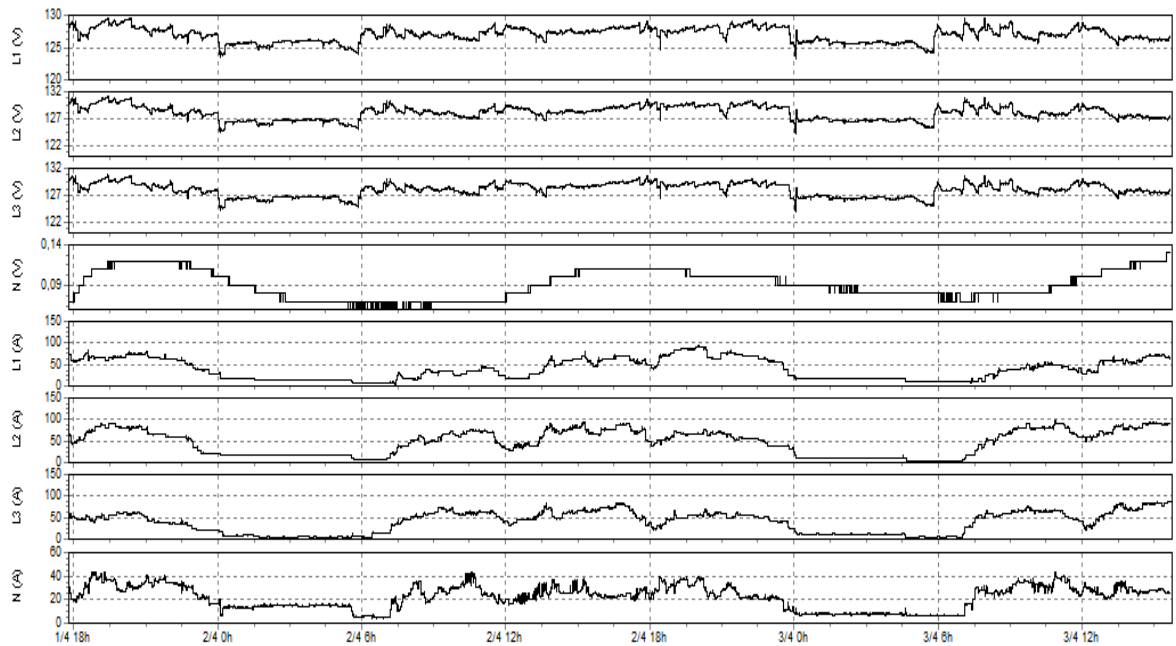
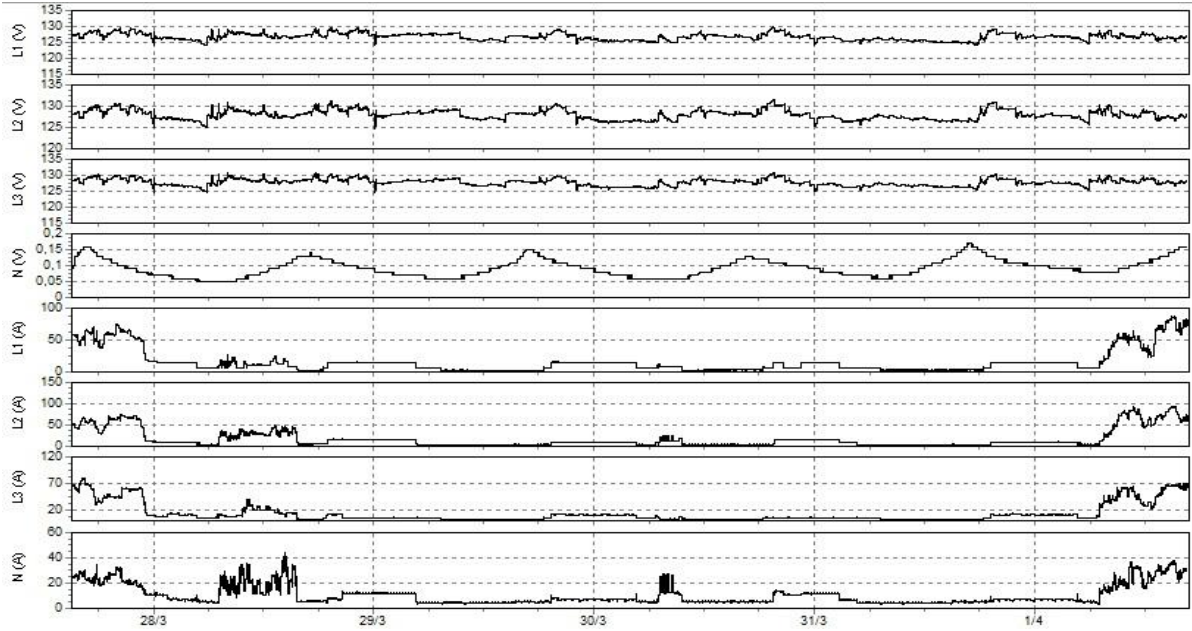
APÊNDICE C

TRANSFORMADOR 2: Coletados valores médios de Potência Ativa, Potência Reativa e Fator de Potência realizado em 27/03/2013 - 03/04/2013.



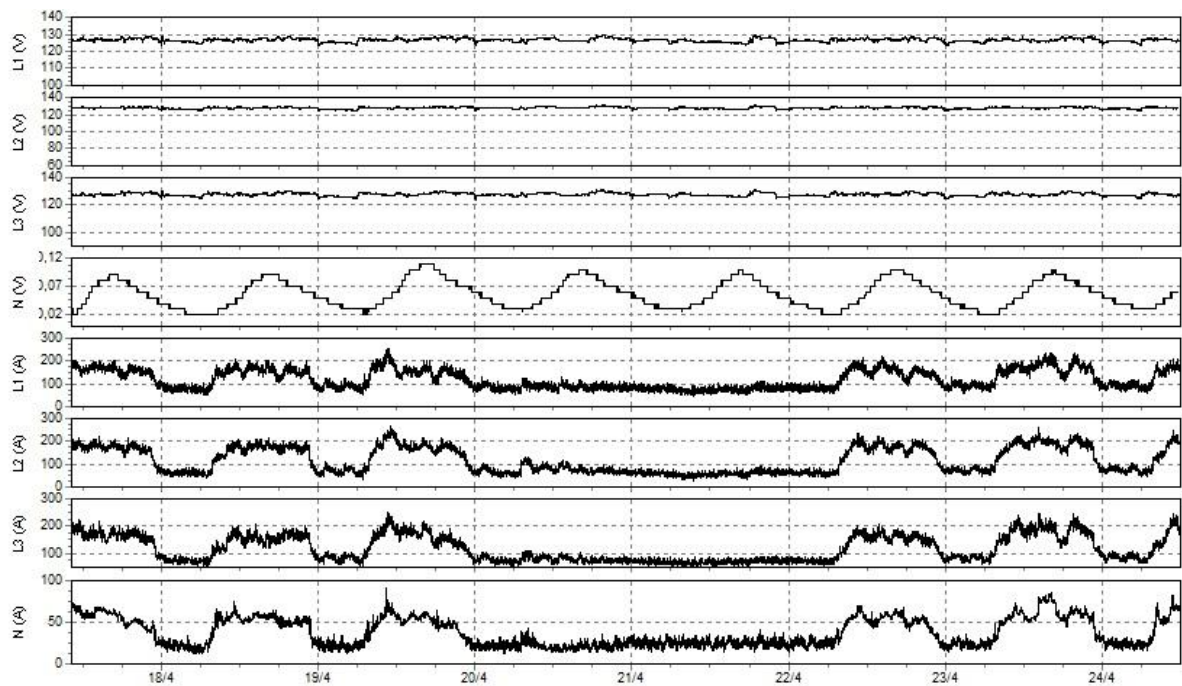
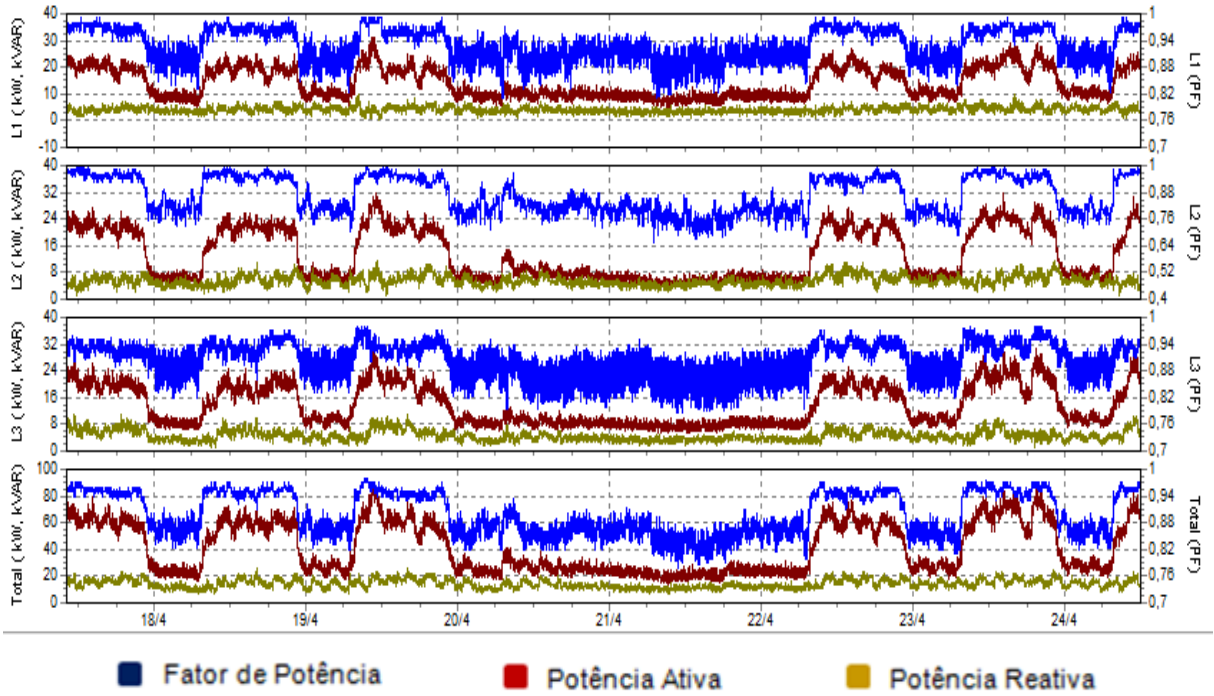
APÊNDICE D

TRANSFORMADOR 2: Coletados valores médios de Tensão Nominal e Corrente Nominal realizado em 27/03/2012 - 03/04/2013.



APÊNDICE E

TRANSFORMADOR 3: Coletados valores médios de Potência Ativa, Potência Reativa, Fator de Potência, Tensão Nominal e Corrente Nominal realizado em 17/04/2013 - 24/04/2013.



APÊNDICE F

TRANSFORMADOR 4: Coletados valores médios de Potência Ativa, Potência Reativa, Fator de Potência, Tensão Nominal e Corrente Nominal realizado em 10/04/2013 - 15/04/2013.

